



TUGAS AKHIR TF 141581

***ANALISIS RELIABILITY DAN SAFETY INTEGRITY
LEVEL (SIL) DENGAN METODE RISK GRAPH DAN
FAULT TREE ANALYSIS (FTA) PADA
UNIT BOILER (B-6203) PABRIK III
PT. PETROKIMIA GRESIK***

TASYA MU'AFIDA
NRP 2414.106.014

Dosen Pembimbing :
Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes
Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



FINAL PROJECT TF 141581

**ANALYSIS OF RELIABILITY AND SAFETY
INTEGRITY LEVEL (SIL) USING RISK GRAPH
METHOD AND FAULT TREE ANALYSIS (FTA)
IN BOILER UNIT (B-6203) AT THIRD PLANT
PT. PETROKIMIA GRESIK**

TASYA MU'AFIDA
NRP 2414.106.014

Advisor Lecturer :
Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes
Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

*Department of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2017*

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS *RELIABILITY* DAN *SAFETY INTEGRITY*
LEVEL (SIL) DENGAN METODE *RISK GRAPH* DAN
FAULT TREE ANALYSIS (FTA) PADA *BOILER* (B-6203)
PABRIK III PT. PETROKIMIA GRESIK**

TUGAS AKHIR

Oleh:
Tasya Mu'afida
NRP. 2414 106 014

Surabaya, Januari 2017
Mengetahui

Pembimbing I



Ir. Ronny Dwi Noriyani, M.Kes
NIP. 19571126 198403 2 002

Pembimbing II



Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc
NIP. 19600901 198701 1 001



**Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTL-ITS**

Agus Muhammad Hatta, ST, M.Si, Ph.D
NIP. 19780902 200312 1 002

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS *RELIABILITY* DAN *SAFETY INTEGRITY*
LEVEL (SIL) DENGAN METODE *RISK GRAPH* DAN
FAULT TREE ANALYSIS (FTA) PADA *BOILER* (B-6203)
PABRIK III PT. PETROKIMIA GRESIK**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Instrumentasi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**Tasya Mu'afida
NRP. 2414 106 014**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes Pembimbing I
2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc Pembimbing II
3. Totok Ruki Biyanto, ST, MT, Ph.D Ketua Penguji
4. Ir. Yaumar, ST, MT Penguji I
5. Ir. Harsono Hadi, MT, PhD Penguji II

**Surabaya,
Januari 2017**

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

ANALISIS *RELIABILITY* DAN *SAFETY INTEGRITY LEVEL* (SIL) DENGAN METODE *RISK GRAPH* DAN *FAULT TREE ANALYSIS* (FTA) PADA *BOILER* (B-6203) PABRIK III PT. PETROKIMIA GRESIK

Nama	: Tasya Mu'afida
NRP	: 2414 106 014
Departemen	: Teknik Fisika, FTI-ITS
Dosen Pembimbing	: 1. Ir. Ronny Dwi N., M.Kes 2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

ABSTRAK

Boiler (B-6203) merupakan unit yang digunakan untuk men-supply *steam* pada *steam generator* pabrik III PT. Petrokimia Gresik. Unit ini merupakan unit penting pada pabrik III karena apabila terjadi kegagalan pada B-6203 maka akan menghentikan semua proses pada pabrik III. Dengan menentukan empat buah node pada unit *Boiler* B-6203, yaitu *economizer*, *steam drum*, *superheater* dan *burner* diketahui bahwa laju keandalan hingga mencapai keandalan minimum menurut standart perusahaan yaitu 0.6. Nilai keandalan sistem pada rentang waktu 2000 jam atau 3 bulan yaitu 0.52. Waktu interval *maintenance* berada pada range 3750 jam hingga 26000 jam. Valve FV-6212 memiliki interval waktu *maintenance* yaitu 3750 jam operasi. Pada analisa *Safety Integrity Level* (SIL) kuantitatif dengan metode *Fault Tree Analysis* (FTA), diperoleh nilai SIL sistem B-6203 yaitu SIL 2 dengan nilai PFD 0.00102. Sementara pada analisa SIL semi-kuantitatif dengan metode *Risk Graph* diperoleh hasil SIL 1 pada node *economizer*, *steam drum* dan *superheater*. Node *burner* memperoleh SIL 2 karena pada komponen tersebut apabila terjadi kebocoran pada aliran *natural gas*, maka dapat menimbulkan api hingga ledakan pada *plant*.

Kata Kunci : *Boiler* B-6203, FTA, Kehandalan, *Risk Graph*, SIL

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

**ANALYSIS OF RELIABILITY AND SAFETY INTEGRITY
LEVEL (SIL) USING RISK GRAPH METHOD AND FAULT
TREE ANALYSIS (FTA) IN BOILER (B-6203) UNIT
AT THIRD FACTORY PT.PETROKIMIA**

Name : Tasya Mu'afida
NRP : 2414 106 014
Department : Teknik Fisika, FTI-ITS
Supervisors : 1. Ir. Ronny Dwi N., M.Kes
2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

ABSTRACT

Boiler (B-6203) was unit used to supply steam in the steam generator third factory PT. Petrokimia Gresik. B-6203 was an important unit. If there were failure on the B-6203, the system would stop all processes on the plant. There were four nodes on the unit Boiler B-6203, such as the economizer, steam drum, superheater and burner. The minimum reliability reliability according to standard company is 0.6. The value of system reliability on a span of 2000 hours or 3 months that is 0.52. The interval of maintenance schedule in the range of 3750 hours until 26000 hours. FV-6212 has the lowest interval of maintenance schedule in 3750 hours of operation. In the analysis of Safety Integrity Level (SIL) with quantitative methods, Fault Tree Analysis (FTA), Boiler (B-6203) obtained with SIL 2 PFD value of 0.00102. The value of SIL with semi-quantitative method, risk graph method, given result SIL 1 in node economizer, steam drum and superheater. Node burner obtained SIL 2 due to the components in the event of a leak on the flow of natural gas. It could cause a fire to an explosion in the plant.

Keywords : Boiler B-6203, FTA, Reliability, Risk Graph, SIL

This page is intentionally left blank

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah serta inayahnya dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “***Analisis Reliability dan Safety Integrity Level (SIL) dengan Metode Risk Graph dan Fault Tree Analysis (FTA) pada Boiler (B-6203) Pabrik III PT. Petrokimia Gresik***”.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini penulis mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D selaku ketua jurusan Teknik Fisika ITS.
2. Ibu Ir. Ronny Dwi Noryati, M.Kes selaku pembimbing pertama tugas akhir atas segala ilmu, bimbingan dan motivasi yang diberikan.
3. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc, selaku pembimbing kedua atas teori dan pengalaman yang diberikan.
4. Bapak Totok Ruki Biyanto, ST, MT, Ph.D. selaku kepala laboratorium Rekayasa Instrumentasi atas dorongan dan bimbingan kepada penulis.
5. Seluruh karyawan PT Petrokimia Gresik yang telah membantu penulis selama tugas akhir.
6. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan doa dan dukungan sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis memohon maaf apabila masih terdapat kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Penulis berharap laporan tugas akhir ini bisa bermanfaat bagi orang lain sebagai referensi pengerjaan tugas akhir.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	4
BAB II TEORI PENUNJANG	5
2.1 <i>Boiler</i> (B-6203).....	5
2.2 <i>Reliability</i> (Keandalan)	7
2.3 Laju Kegagalan (<i>Failure Rate</i>)	8
2.4 <i>Availability</i> (Ketersediaan)	14
2.5 <i>Maintainability</i> (Keterawatan)	15
2.6 Pemodelan Sistem.....	17
2.7 <i>Safety Integrity Level</i> (SIL).....	18
2.8 <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA).....	21
2.9 <i>Independent Protection Layer</i> (IPL).....	23
2.10 <i>Target Mitigated Event Likelihood</i> (TMEL).....	25
2.11 <i>Risk Graph</i>	26
BAB III TEORI PENUNJANG.....	33
3.1 Studi Literatur dan Studi Lapangan	33
3.2 Identifikasi Komponen.....	33
3.3 Pengambilan Data	33
3.4 Perhitungan Reliability, Availability, Maintainability dan Failure Rate pada Komponen.....	34

3.5	Analisa Kuantitatif dengan Metode Fault Tree Analysis.....	37
3.6	Analisa Semi-Kualitatif dengan Metode Risk Graph.....	39
3.7	Analisis Hasil Perhitungan Nilai SIL secara Kuantitatif dan Semi-kualitatif.....	41
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Analisa Reliability Kuantitatif unit <i>Boiler</i> (B-6203)	43
4.2	Pengumpulan Data	43
4.3	Pengolahan Data <i>Time to Failure</i> (TTF) dan <i>Time to Repair</i> (TTR)	45
4.4	Hasil Perhitungan Nilai <i>Reliability</i>	46
4.5	Analisa <i>Safety Integrity Level</i> (SIL) Kuantitatif dengan Metode <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA).....	72
4.6	Analisa <i>Safety Integrity Level</i> (SIL) Semi-Kuantitatif dengan Metode <i>Risk Graph</i>	84
BAB V PENUTUP		89
5.1	Kesimpulan	89
5.2	Saran	89
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Boiler B-6203</i>	5
Gambar 2.2 <i>P&ID B-6203</i>	6
Gambar 2.3 <i>Distribusi Normal</i>	9
Gambar 2.4 <i>Distribusi Lognormal</i>	10
Gambar 2.5 <i>Distribusi Weibull</i>	12
Gambar 2.6 <i>Distribusi Eksponensial</i>	13
Gambar 2.7 <i>Konfigurasi Seri (Ebeling, 1997)</i>	17
Gambar 2.8 <i>Konfigurasi Paralel (Ebeling, 1997)</i>	18
Gambar 2.9 <i>Arsitektur SIF 1001 (ISA, 2002)</i>	18
Gambar 2.10 <i>Arsitektur SIF 1002 (ISA, 2002)</i>	19
Gambar 2.11 <i>Arsitektur SIF 1003 (ISA, 2002)</i>	19
Gambar 2.12 <i>Arsitektur SIF 2002 (ISA, 2002)</i>	19
Gambar 2.13 <i>Independent Protection Layer Diagram</i>	24
Gambar 3.1 <i>Diagram Alir Tugas Akhir</i>	34
Gambar 3.2 <i>Input Data TTF</i>	34
Gambar 3.3 <i>Option Distribution Wizard</i>	35
Gambar 3.4 <i>Pengujian Distribusi Weibull</i>	35
Gambar 3.5 <i>Begin Auto Run</i>	36
Gambar 3.6 <i>Ranking Distribusi</i>	36
Gambar 3.7 <i>Nilai Parameter Distribusi</i>	37
Gambar 3.8 <i>Skema Fault Tree Analysis (FTA)</i>	38
Gambar 3.9 <i>Skema Risk Graph (Marszal dan Scharpf, 2002)</i> . 41	
Gambar 4.1 <i>Grafik Reliability FT-6212</i>	46
Gambar 4.2 <i>Grafik Reliability dengan Preventive Maintenance</i> <i>FT-6212</i>	47
Gambar 4.3 <i>Grafik Reliability FIC-6212</i>	48
Gambar 4.4 <i>Grafik Reliability dengan Preventive Maintenance</i> <i>FIC-6212</i>	48
Gambar 4.5 <i>Grafik Reliability LT-6212</i>	49
Gambar 4.6 <i>Grafik Reliability dengan Preventive Maintenance</i> <i>LT-6212</i>	50
Gambar 4.7 <i>Grafik Reliability LIC-6212</i>	51
Gambar 4.8 <i>Grafik Reliability dengan Preventive Maintenance</i> <i>LIC-6212</i>	51

Gambar 4.9	Grafik <i>Reliability</i> FV-6212	52
Gambar 4.10	Grafik <i>Reliability</i> dengan <i>Preventive Maintenance</i> FV-6212	53
Gambar 4.11	Grafik <i>Reliability</i> LT-6211	54
Gambar 4.12	Grafik <i>Reliability</i> dengan <i>Preventive Maintenance</i> LT-6211	54
Gambar 4.13	Grafik <i>Reliability</i> FT-6213.....	55
Gambar 4.14	Grafik <i>Reliability</i> dengan <i>Preventive Maintenance</i> FT-6213	56
Gambar 4.15	Grafik <i>Reliability</i> TT-6214	57
Gambar 4.16	Grafik <i>Reliability</i> dengan <i>Preventive Maintenance</i> TT-6214	57
Gambar 4.17	Grafik <i>Reliability</i> TIC-6214.....	58
Gambar 4.18	Grafik <i>Reliability</i> dengan <i>Preventive Maintenance</i> TIC-6214.....	59
Gambar 4.19	Grafik <i>Reliability</i> FV-6214	60
Gambar 4.20	Grafik <i>Reliability</i> dengan <i>Preventive Maintenance</i> FV-6214	60
Gambar 4.21	Grafik <i>Reliability</i> FT-6217.....	61
Gambar 4.22	Grafik <i>Reliability</i> dengan <i>Preventive Maintenance</i> FT-6217	62
Gambar 4.23	Grafik <i>Reliability</i> PT-6217.....	63
Gambar 4.24	Grafik <i>Reliability</i> dengan <i>Preventive Maintenance</i> PT-6217	63
Gambar 4.25	Grafik <i>Reliability</i> TT-6217	64
Gambar 4.26	Grafik <i>Reliability</i> dengan <i>Preventive Maintenance</i> TT-6217	65
Gambar 4.27	Grafik <i>Reliability</i> PIC-6217	66
Gambar 4.28	Grafik <i>Reliability</i> dengan <i>Preventive Maintenance</i> PIC-6217	66
Gambar 4.29	Grafik <i>Reliability</i> FV-6217	67
Gambar 4.30	Grafik <i>Reliability</i> dengan <i>Preventive Maintenance</i> FV-6217	68
Gambar 4.31	Grafik <i>Reliability</i> Komponen pada Unit B-6203	70
Gambar 4.32	Diagram Blok <i>Economizer</i>	72
Gambar 4.33	P&ID <i>Economizer</i>	72

Gambar 4.34	Diagram FTA untuk <i>Loop</i> Pengendalian <i>Economizer</i>	73
Gambar 4.35	Diagram Blok <i>Cascade Control System Steam</i> <i>Drum</i>	73
Gambar 4.36	P&ID <i>Steam Drum</i>	74
Gambar 4.37	Diagram FTA untuk <i>Loop</i> Pengendalian <i>Steam</i> <i>Drum</i>	74
Gambar 4.38	Diagram FTA untuk <i>Critical Alarm Steam</i> <i>Drum</i>	75
Gambar 4.39	Diagram FTA untuk <i>Additional Mitigation</i>	75
Gambar 4.40	Diagram Blok <i>Temperature Control</i> <i>Superheater</i>	76
Gambar 4.41	Diagram Blok <i>Flow Control Superheater</i>	76
Gambar 4.42	P&ID <i>Superheater</i>	76
Gambar 4.43	Diagram FTA untuk <i>Loop</i> Pengendalian	77
Gambar 4.44	Diagram Blok <i>Burner</i>	77
Gambar 4.45	P&ID <i>Burner</i>	78
Gambar 4.46	Diagram FTA untuk <i>Loop</i> Pengendalian <i>Burner</i>	78
Gambar 4.47	Diagram FTA untuk Kombinasi <i>Critical Alarm</i> <i>Burner</i>	79
Gambar 4.48	Diagram FTA pada Kondisi <i>Boiler Failed</i>	83

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>PFD (Probability of Failure on Demand)</i> (plc, 2002).....	21
Tabel 2.2 Simbol pada <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA).....	22
Tabel 2.3 <i>Target Mitigated Event Likelihood</i> (TMEL) (Lassen, 2008)	26
Tabel 2.4 Kategori <i>Vulnerability</i> (IEC 61511, 2003)	28
Tabel 2.5 Kategori PLL (Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511, 2003).....	29
Tabel 2.6 Kategori Konsekuensi terhadap Lingkungan (Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511, 2003).....	29
Tabel 2.7 Kategori Konsekuensi terhadap Keuangan (Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511, 2003).....	30
Tabel 2.8 Kategori <i>Occupancy</i> (Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511, 2003).....	30
Tabel 2.9 Kategori <i>Probability of Avoidance</i> (Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511, 2003).....	31
Tabel 2.10 Kategori <i>Demand rate</i> (Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511, 2003)	32
Tabel 4.1 Data Komponen Sistem Pengendalian pada <i>Boiler</i> B-6203.....	44
Tabel 4.2 Data <i>Critical Alarm</i> dan <i>Additional Mitigation</i> pada <i>Boiler</i> B-6203	44
Tabel 4.3 Data TTF dan TTR pada FT-6212	45
Tabel 4.4 Analisa Distribusi Keandalan FT-6212	45
Tabel 4.5 Waktu Interval Perawatan Berdasarkan Hasil Implementasi <i>Preventive Maintenance</i>	71
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan PFD berdasarkan Desain FTA pada Komponen BPCS	80
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan PFD berdasarkan Desain FTA pada Kombinasi <i>Critical Alarm</i>	81
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan PFD berdasarkan Desain FTA pada Kombinasi <i>Additional Mitigation</i>	81

Tabel 4.9 Nilai PFDs untuk IPLs pada proses secara umum
(Lassen, 2008 *mengacu pada* CCPS, 2001) 82

Tabel 4.10 Hasil Analisa SIL pada *Risk Graph*..... 85

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut *International Labor Organization* (ILO), terdapat 6.000 kasus kecelakaan kerja terjadi setiap hari dan berakibat fatal. Di Indonesia, terdapat 20 korban akibat kecelakaan kerja dari setiap 100.000 tenaga kerja. Jenis industri yang memiliki potensi bahaya tinggi merupakan industri produksi pupuk. Beberapa peristiwa bencana yang terjadi pada industri pupuk diantaranya sebuah ledakan pada tahun 1984 di pabrik pupuk Union Carbide, Bhopal, India. Pada tahun 2013, saat simulasi tanggap darurat dilakukan di PT Pupuk Kaltim yang menyebabkan 1 orang meninggal dan 4 lainnya dirawat karena terpapar ammonia. Penyebab kecelakaan ini adalah pompa ammonia transfer mengalami kebocoran.

PT. Petrokimia Gresik adalah salah satu pabrik yang bergerak dibidang produksi pupuk yang berlokasi di Gresik, Jawa Timur. PT Petrokimia Gresik memproduksi berbagai macam pupuk seperti Urea, ZA, SP-36, ZK, NPK Phonska, NPK Kebomas, dan pupuk organik petroorganik. Selain terdapat pabrik yang memproduksi pupuk serta produk non-pupuk, terdapat pula unit utilitas. Unit utilitas merupakan suatu unit yang menunjang operasional pabrik. Adapun sistem utilitas pada produksi III terdiri dari unit-unit, yaitu *power generation*, *steam generation unit*, *instrument/service air unit*, *water treatment unit*, serta *cooling water unit*.

Pada *steam generation unit*, terdapat tiga buah *Boiler* sebagai penyedia steam untuk *steam generator unit* ataupun proses produksi unit pupuk/non-pupuk. B-6201 dengan kapasitas 41 *ton steam/hour*, B-6203 dengan kapasitas 70 *ton steam/hour* serta B-6202 sebagai *Back Up Boiler* yang mempunyai kapasitas 5 *ton steam/hour*. Dengan kapasitas yang cukup besar, *Boiler* (B-6203) menjadi pemasok *steam* utama pada *steam generator unit* ataupun proses produksi pupuk/non-pupuk. Produk yang dihasilkan oleh B-6203 terbagi atas dua kondisi, yakni *high pressure steam* dengan

tekanan 35 kg/cm² dan temperature 400°C digunakan pada *steam generator unit*, sementara *low pressure steam* digunakan bagi unit lain, seperti unit asam sulfat untuk *steam heater* pencairan belerang dan *steam jacket* atau unit asam Phospat untuk *steam heater*, *steam ejector* dan evaporator.

Boiler merupakan salah satu unit terbatas dengan potensi bahaya yang dapat menyebabkan kecelakaan, baik yang membahayakan *equipment* yang berada pada *plant* tersebut ataupun manusia disekitarnya. Pada penelitian Septian Hari P tahun 2014 mengenai analisis *Hazard and Operability* (HazOp) untuk deteksi bahaya dan manajemen risiko pada unit *Boiler* (B-6203) di pabrik III PT. Petrokimia Gresik, digunakan sebagai panduan analisa keamanan serta panduan pengoperasian peralatan. Selain analisa menggunakan HazOP di perlukan analisa nilai *Safety Integrity Level* (SIL) guna mengetahui tingkat keamanan *equipment* yang digunakan. Oleh karena itu dilakukan perhitungan nilai SIL pada Unit *Boiler* (B-6203) dengan menggunakan dua metode yakni *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Risk Graph*. Penggunaan dua metode dimaksudkan agar dapat diketahui perbedaan hasil perhitungan nilai SIL dengan dua cara yang berbeda

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan tersebut, maka diperoleh permasalahan dalam Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bagaimana menganalisa keandalan pada unit *Boiler* (B-6203) di Pabrik III PT. Petrokimia Gresik?
2. Bagaimana menganalisa keselamatan dengan metode *Fault Tree Analysis* (FTA).pada unit *Boiler* (B-6203) di Pabrik III PT. Petrokimia Gresik?
3. Bagaimana menganalisa keselamatan dengan metode *Risk Graph*.pada unit *Boiler* (B-6203) di Pabrik III PT. Petrokimia Gresik?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh level keandalan pada unit *Boiler* (B-6203) di Pabrik III PT. Petrokimia Gresik.
2. Memperoleh level keselamatan dengan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) pada unit *Boiler* (B-6203) di Pabrik III PT. Petrokimia Gresik.
3. Memperoleh level keselamatan dengan metode *Risk Graph* pada unit *Boiler* (B-6203) di Pabrik III PT. Petrokimia Gresik.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya permasalahan yang muncul, maka dalam pengerjaan tugas akhir ini diambil beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Analisa dilakukan pada unit *Boiler* (B-6203) di Pabrik III PT. Petrokimia Gresik.
2. Data perawatan yang digunakan (*Work Order Document*) diperoleh pada tahun 2005 hingga tahun 2015.
3. Skenario kejadian berdasarkan *Hazard and Operability* (HazOp) hasil Tugas Akhir dari Septian Hari Pradana pada tahun 2014.
4. Software yang digunakan yaitu Reliasoft Weibull Version.

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1 Boiler (B6203)

Boiler atau ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan steam. Steam diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. *Boiler* dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar. *Boiler* berfungsi sebagai pesawat konversi energi yang mengkonversikan energi kimia (potensial) dari bahan bakar menjadi energi panas.

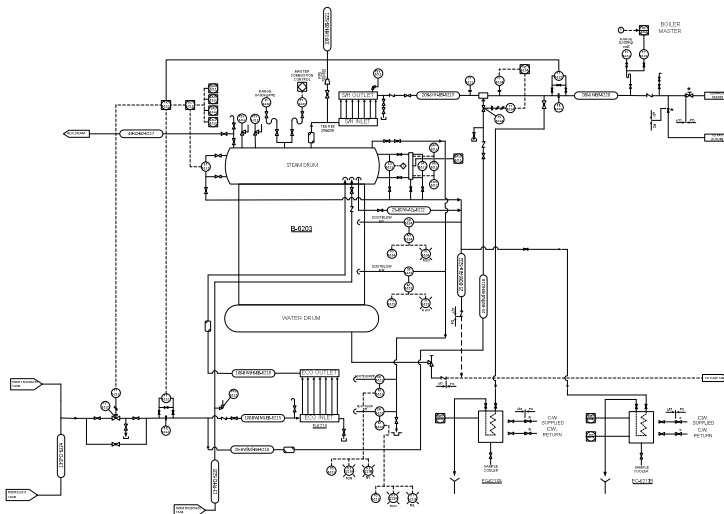


Gambar 2.1 Boiler B-6203

Boiler Feed Water yang berupa demin water dan kondensat dimasukkan ke dalam deaerator untuk dinaikkan temperaturnya sampai 105°C dan sebagian uap dibuang ke atmosfer untuk mengeluarkan kandungan O₂ dan CO₂. Oksigen merupakan salah satu penyebab korosi di dalam *Boiler*. Selanjutnya dengan *Boiler Feed Pump* didistribusikan ke:

1. B-6201 *Boiler* yang mempunyai kapasitas NCR 43 ton steam/jam
2. B-6203 *Boiler* yang mempunyai kapasitas NCR 70 ton steam/jam
3. B-1101 *Backup Boiler* yang mempunyai kapasitas 80 ton steam/jam.

Pada B-6203, *water* dari *feedwater tank* akan dipanaskan awal oleh *economizer*. *Economizer* akan melakukan pemanasan awal (*pre-heat*) *Boiler feed water* sebelum masuk ke *steam drum*. *Water* yang dipanaskan akan berubah menjadi *wet steam*, dimana pemanasan dilakukan pada *saturated temperature*, yakni 371°C dengan tekanan 49.29 kg/cm^2 . Didalam *steam drum*, temperatur dijaga agar stabil pada 405°C dengan tekanan 36.5 kg/cm^2 . Sementara kerja dari superheater yaitu memanaskan *steam* yang masih memiliki kandung air (*wet steam*) dengan temperature 435°C dan tekanan 35 kg/cm^2 . *Wet steam* akan menjadi *saturated steam* yang akan digunakan untuk menggerakkan *steam turbine*. *Burner* memberikan pemanasan dengan temperatur yang tinggi pada *furnace* (tungku pembakaran) dengan menggunakan bahan bakar berupa *natural gas* pada B-6203.



Gambar 2.2 P&ID B-6203

Produk yang dihasilkan oleh *Boiler B-6203*, yaitu:

1. *High Pressure Steam*, dengan tekanan 35 kg/cm^2 dan temperature 400°C .

2. *Low Pressure Steam*, dengan tekanan 10 kg/cm² dan temperature 270° C. steam ini digunakan untuk keperluan berbagai unit, antara lain:
 - a. Unit Asam Sulfat untuk steam heater pencairan belerang dan *steam jacket*.
 - b. Unit asam Phospat untuk *steam heater*, *steam ejector* dan evaporator
 - c. Unit Gypsum untuk membantu proses *filter purified gypsum* dan granulator CR
 - d. Unit AIF3 untuk *crystallizer* dan *washing cloth centrifuge* SiO₂/ AIF₃
 - e. Unit ZA II untuk *steam heater*, *steam ejector* dan evaporator.

2.2 Reliability (Keandalan)

Kehandalan merupakan peluang suatu sistem atau komponen berjalan dengan fungsi yang diharapkan selama periode waktu tertentu dengan kondisi operasi tertentu (Ebeling 1997). Dari definisi tersebut kehandalan dapat mempengaruhi aktivitas produksi.

Fungsi *reliability* dinotasikan sebagai $R(t)$ dari sistem jika dipakai selama t satuan waktu. Probabilitas sistem dapat berfungsi dengan baik selama pemakaian $[0, t]$. Konsep waktu dalam *reliability* adalah TTF (*time to failure*). TTF sebagai waktu yang dilalui komponen saat mulai beroperasi sampai mengalami kegagalan.

Untuk menghitung nilai kehandalan dapat menggunakan persamaan berikut (Ebeling 1997):

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_0^{\infty} f(t)dt \quad (2.1)$$

dimana:

$F(t)$ = Cumulative Distribution Function (CDF)

$R(t)$ = Reliability Function

$f(t)$ = Probability Density Function (PDF)

Secara umum terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk melakukan evaluasi kehandalan suatu sistem, yaitu:

- a. Metode kuantitatif merupakan metode perhitungan matematik yang dilakukan dengan pendekatan/distribusi *numeric*. Metode ini dilakukan terhadap data *maintenance (equipment record)* terhadap kegagalan (*time to failure*) yang didefinisikan sebagai waktu yang dilalui komponen atau sistem mulai beroperasi sampai mengalami kegagalan dan waktu perbaikan (*time to repair*) didefinisikan sebagai waktu perbaikan yang diperlukan oleh komponen supaya dapat berfungsi kembali. Data TTF dan TTR dari komponen dapat didekati dengan beberapa distribusi kegagalan yang telah dikenal antara lain distribusi normal, lognormal, eksponensial dan weibull.
- b. Metode kualitatif merupakan metode analisa secara quality mealalui perspektif praktis dari suatu masalah. Untuk merancang metode kualitatif dengan menggunakan pola mendapatkan data dengan teknik kulitatif pula. Contohnya mode dan dampak kegagalan. Analisa kualitatif ini digunakan untuk menganalisa sistem untuk dicari jenis kegiatan yang paling efektif ditinjau dari segi bentuk kegagalan.

2.3 Laju Kegagalan (*Failure Rate*)

Laju kegagalan (λ) merupakan ukuran atau nilai seberapa besar kegagalan yang terjadi persatuan waktu (Deepak Prabhkar P 2013). Laju kegagalan dapat dinyatakan perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi dalam selang waktu tertentu dengan total waktu operasi suatu komponen atau sistem. Adapun perhitungan untuk menentukan nilai laju kegagalan adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997) :

$$\lambda(t) = \frac{f}{T} \quad (2.2)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.3)$$

$$\lambda(t) = \frac{1}{MTTF} \quad (2.4)$$

dimana:

f = kegagalan selama jangka waktu operasi

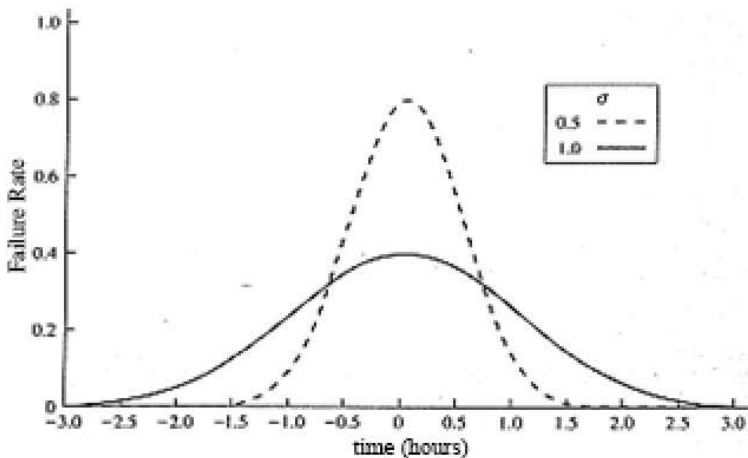
t = total waktu operasi (jam)

MTTF = rata-rata kegagalan yang terjadi (jam)

Adapaun terdapat empat buah distribusi laju kegagalan, dimana distribusi tersebut diperoleh berdasarkan data *Time to Repair* (TTR) dan *Time to Failure* (TTF). Berikut jenis-jenis distribusi kegagalan tersebut (Ebeling 1997):

2.3.1 Distribusi Normal

Distribusi *normal* atau yang sering disebut distribusi gaussian merupakan jenis distribusi yang sering digunakan dalam menjelaskan sebaran data (Boediono & Koster 2001).



Gambar 2.3 Distribusi Normal

Berikut merupakan persamaan untuk menentukan *Probability density function*:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right) \quad (2.5)$$

dimana:

t = waktu (jam)

μ = rata-rata data

σ = simpangan baku

Bila distribusi kegagalan suatu sistem menggunakan distribusi *normal*, maka dapat menggunakan persamaan berikut untuk mengetahui (Ebeling 1997) :

a. Fungsi *Reliability* $R(t)$

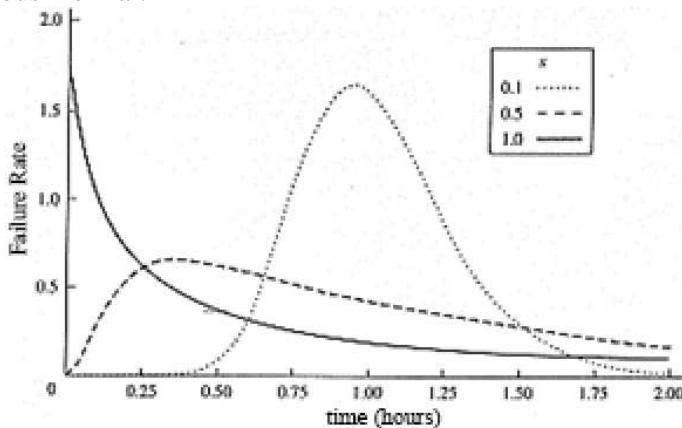
$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \quad (2.6)$$

b. Laju Kegagalan $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)} \quad (2.7)$$

2.3.2 Distribusi Lognormal

Distribusi ini memiliki dua parameter yang sama seperti distribusi normal.



Gambar 2.4 Distribusi Lognormal

Berikut merupakan persamaan untuk mencari *Probability density function* (Ebeling 1997):

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2.8)$$

Bila distribusi kegagalan suatu sistem menggunakan distribusi *lognormal*, maka dapat menggunakan persamaan berikut untuk mengetahui (Ebeling 1997) :

a. Fungsi Keandalan distribusi lognormal adalah :

$$R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right] dt \quad (2.9)$$

b. Laju kegagalan distribusi lognormal adalah :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.10)$$

c. Waktu rata-rata kegagalan distribusi lognormal adalah :

$$\text{MTTF} = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (2.11)$$

dimana:

t = waktu (jam)

μ = rata-rata data

σ = simpangan baku

2.3.3 Distribusi Weibull

Distribusi weibull dapat dipakai untuk merepresentasikan bentuk variasi data yang luas. Berikut merupakan fungsi dari parameter distribusi *weibull* :

- η , sebagai parameter skala (*scale parameter*), $\eta > 0$, disebut sebagai *characteristic life*
- β , sebagai parameter bentuk (*shape parameter*), $\beta > 0$, mendeskripsikan bentuk dari PDF (*Probability Density Function PDF*).

- γ , sebagai parameter lokasi (*locations parameter*), yaitu merepresentasikan *failure-free* atau awal periode dari penggunaan alat. Jika $\gamma = 0$ maka distribusi akan berubah menjadi dua parameter.

Probability density function dari distribusi *weibull* dapat dicari dengan persamaan berikut (Abernethy n.d.):

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \right] \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2.12)$$

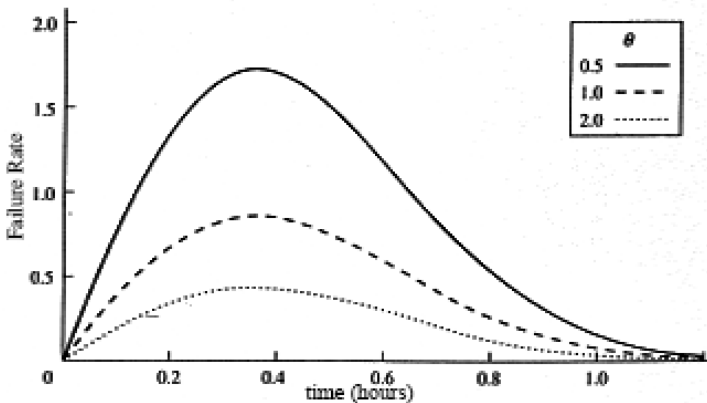
dimana:

t = waktu (jam)

β = parameter bentuk (*shape parameter*)

η = parameter skala (*scale parameter*)

γ = parameter lokasi (*location parameter*)



Gambar 2.5 Distribusi Weibull

Bila pendekatan data distribusi kegagalan suatu sistem menggunakan distribusi weibull, maka dapat menggunakan persamaan berikut untuk mengetahui:

- Laju kegagalan distribusi *weibull* adalah :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (2.13)$$

b. Fungsi Keandalan distribusi *weibull* adalah :

$$R(t) = \exp \left\{ - \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \right\} \quad (2.14)$$

c. Waktu rata-rata kegagalan distribusi *weibull* adalah :

$$MTTF = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.15)$$

dimana:

t = waktu (jam)

β = parameter bentuk (*shape parameter*)

η = parameter skala (*scale parameter*)

γ = parameter lokasi (*location parameter*)

2.3.4 Distribusi Exponensial

Probability Density Function (PDF) distribusi eksponensial ditunjukkan pada persamaan berikut (Ebeling, 1997) :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda(t-\gamma)}, \quad t > 0, \lambda > 0, t \geq \gamma \quad (2.16)$$

dimana:

t = waktu (jam)

β = bentuk parameter (*shape parameter*)

γ = parameter lokasi (*location parameter*)

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi eksponensial, maka (Ebeling, 1997) :

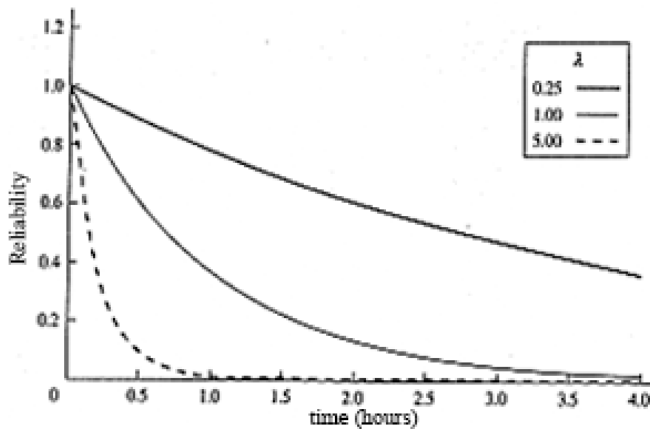
a. Fungsi Keandalan distribusi eksponensial adalah :

$$R(t) = e^{-\lambda(t\gamma)} \quad (2.17)$$

dimana:

t = waktu (jam)

γ = parameter lokasi (*location parameter*)



Gambar 2.6 Distribusi Ekspensial

Adapun persamaan untuk menentukan laju kegagalan serta waktu rata-rata kegagalan adalah sebagai berikut:

b. Laju kegagalan distribusi *eksponensial* adalah :

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.18)$$

c. Waktu rata-rata kegagalan distribusi eksponensial adalah :

$$MTTF = \gamma + \frac{1}{\lambda} \quad (2.19)$$

dimana:

t = waktu (jam)

γ = parameter lokasi (*location parameter*)

MTTF = *Mean Time to Failure* (jam)

2.4 Availability (Ketersediaan)

Availability merupakan probabilitas sebuah komponen akan tersedia saat dibutuhkan (dengan berbagai aspek kehandalan, kemampurawatan, dan dukungan perawatan). *Availability* dapat dikategorikan sebagai proporsi dari total waktu sebuah komponen tersedia untuk digunakan. *Availability* yang berubah terhadap waktu dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Ebeling 1997) :

$$A(t) = \left[\left(\frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) + \left(\left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right) \exp(-(\lambda + \mu)t) \right) \right] \quad (2.20)$$

dimana:

t = waktu (jam)

μ = rata-rata data *Time to Repair* (1/MTTR)

λ = laju kegagalan (*failure rate*)

2.5 Maintainability (Keterawatan)

Maintainability merupakan kemampuan suatu komponen yang rusak untuk diperbaiki pada keandalan semula dalam kurun waktu tertentu, sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. *Maintainability* mempunyai rumus yang berbeda-beda pada setiap distribusi datanya (Ebeling, 1997). Nilai *maintainability* dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

a. *Maintainability* Normal

$$M(t) = \varphi \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right) \quad (2.21)$$

b. *Maintainability* Logormal

$$M(t) = \varphi \left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right) \quad (2.22)$$

dimana:

t = waktu (jam)

μ = rata-rata

σ = simpangan baku

c. *Maintainability* Weibull

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\sigma}\right)^\beta} \quad (2.23)$$

dimana:

t = waktu (jam)

β = parameter bentuk (*shape parameter*)

η = parameter skala (*scale parameter*)

γ = parameter lokasi (*location parameter*)

d. *Maintainability* Ekspensial

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{MTTR}\right)} \quad (2.24)$$

dimana:

t = waktu (jam)

$MTTR$ = *Mean Time to Repair* (jam)

Untuk persamaan waktu rata-rata perbaikan ($MTTR$) untuk beberapa distribusi dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

a. Distribusi normal :

$$MTTR = \mu \quad (2.25)$$

b. Distribusi lognormal:

$$MTTR = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (2.26)$$

c. Distribusi weibull:

• Dua parameter :

$$MTTR = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.27)$$

• Tiga parameter :

$$MTTR = t_0 + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.28)$$

d. Distribusi eksponensial :

$$MTTR = \gamma + \frac{1}{\lambda} \quad (2.29)$$

dimana:

t = waktu (jam)

μ = rata-rata

σ = simpangan baku

β = parameter bentuk (*shape parameter*)

η = parameter skala (*scale parameter*)

γ = parameter lokasi (*location parameter*)

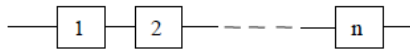
$MTTR$ = *Mean Time to Repair* (jam)

2.6 Pemodelan Sistem

Pada saat nilai kehandalan secara keseluruhan didalam suatu sistem diketahui, maka perlu diketahuipula jenis konfigurasi sistem tersebut. Setiap sistem mempunyai komponen yang membentuk konfigurasi dalam menjalankan fungsinya. Berikut ini adalah jenis-jenis konfigurasi sistem.

2.6.1 Konfigurasi Seri

Pada sistem dengan susunan komponen seri, komponen secara keseluruhan harus berfungsi agar sistem dapat berjalan. Hubungan seri dari suatu sistem dapat digambarkan dalam suatu diagram blok seperti gambar berikut ini.



Gambar 2.7 Konfigurasi Seri (Ebeling, 1997)

dimana:

E_1 = kejadian komponen 1 tidak gagal

E_2 = kejadian komponen 2 tidak gagal

Maka, $P(E_1) = R_1$ dan $P(E_2) = R_2$

R_1 = *reliability* komponen 1

R_2 = *reliability* komponen 2

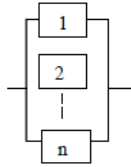
Sehingga persamaan pada perhitungan konfigurasi seri ditunjukkan dengan persamaan berikut (Ebeling, 1997).

$$R_S = P(E_1 \cap E_2) = P(E_1)P(E_2) = R_1(R_2) \quad (2.30)$$

2.6.2 Konfigurasi Paralel

Dua atau lebih komponen dalam susunan paralel atau *redundant*, jika semua komponen gagal maka sistem tidak akan berjalan. Namun, apabila salah satu komponen terjadi kegagalan dan komponen yang lain masih menjalankan fungsinya dengan baik, maka sistem masih dapt berjalan.

Hubungan paralel dari suatu sistem dapat digambarkan dalam suatu diagram blok seperti gambar berikut:



Gambar 2.8 Konfigurasi Paralel (Ebeling, 1997)

Reliability untuk sistem paralel dan komponen bebas didapatkan dengan mengurangkan 1 dengan probabilitas semua n komponen. Jika terdapat 2 komponen menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R_P &= P(E_1 \cup E_2) \\ R_P &= 1 - P(E_1 \cup E_2)^c = 1 - P(E_1^c)P(E_2^c) \\ R_P &= 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) \end{aligned} \quad (2.31)$$

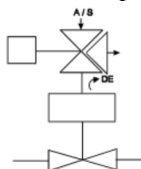
Secara umum reliability sistem paralel ditunjukkan pada persamaan berikut (Ebeling, 1997).

$$R_P(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_1(t)] \quad (2.32)$$

2.7 Safety Integrity Level (SIL)

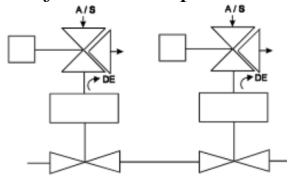
Sistem proteksi merupakan sistem yang ditujukan untuk menjaga proses pada suatu proses tetap aman ketika terjadi deviasi atau kejadian bahaya. Sistem proteksi bekerja secara terpisah dengan *Basic Process Control System* (BPCS). Sistem proteksi biasa disebut dengan *Safety Instrumented System* (SIS), SIS terdiri dari beberapa instrument yang bekerja dalam satu sistem yang disebut *Safety Instrumented Function* (SIF). Setiap SIF mempunyai aksitekstur yang berbeda, terdapat enam macam arsitektur SIF yaitu :

1. 1oo1 artinya *one out of one*, terdapat 1 keluaran dari 1 SIF.



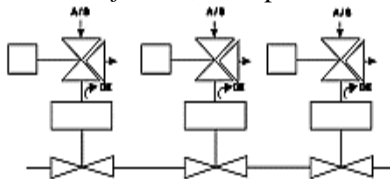
Gambar 2.9 Arsitektur SIF 1oo1 (ISA, 2002)

2. 1oo2 artinya *one out of two*, terdapat 1 keluaran dari 2 SIF.



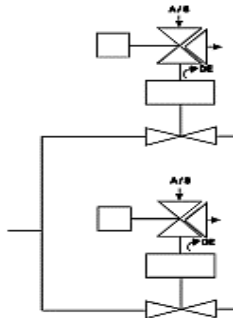
Gambar 2.10 Arsitektur SIF 1oo2 (ISA, 2002)

3. 1oo3 artinya *one out of three*, terdapat 1 keluaran dari 3 SIF.



Gambar 2.11 Arsitektur SIF 1oo3 (ISA, 2002)

4. 2oo2 artinya *two out of two*, terdapat 2 keluaran dari 2 SIF.



Gambar 2.12 Arsitektur SIF 2oo2 (ISA, 2002)

5. 2oo3 artinya *two out of three*, terdapat 2 keluaran dari 3 SIF.
 6. 2oo4 artinya *two out of four*, terdapat 2 keluaran dari 4 SIF.

SIL sendiri berhubungan dengan *Probability of Failure on Demand* (PFD) dari suatu SIF. PFD adalah probabilitas perangkat akan gagal melakukan fungsinya ketika dibutuhkan. Nilai rata-rata PFD (PFDavg- dari semua elemen SIF) digunakan untuk evaluasi

SIL(ISA, 2002). PFD biasanya dinyatakan sebagai PFD_{avg} , yang merupakan nilai rata-rata selama *functional test interval*. Semakin tinggi nilai SIL maka PFD dari *Safety Instrumented System* (SIS) semakin kecil. Tingkat SIL dari suatu SIS ditentukan oleh nilai PFD dari tiap – tiap SIF penyusun SIS itu sendiri, yaitu sensor, *logic solver* dan *final element* serta arsitektur/konfigurasi elemen – elemen tersebut dalam membangun SIS.

Berdasarkan IEC 61508 terdapat empat level SIL, yaitu SIL 1, SIL 2, SIL 3 dan SIL 4 yang mempunyai nilai PFD berbeda tiap tingkatan.

Menentukan SIL secara kuantitatif dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan terhadap PFD untuk tiap – tiap SIF penyusun SIS kemudian menghitung PFD_{avg} SIF. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan untuk mencari PFD (ISA, 2002):

a. 1oo1

$$PFD_{avg} = \lambda x \frac{Ti}{2} \quad (2.33)$$

b. 1oo2

$$PFD_{avg} = \frac{\lambda^2 x Ti^2}{3} \quad (2.34)$$

c. 1oo3

$$PFD_{avg} = \frac{\lambda^3 x Ti^3}{4} \quad (2.35)$$

d. 2oo2

$$PFD_{avg} = \lambda x Ti \quad (2.36)$$

e. 2oo3

$$PFD_{avg} = \lambda^2 x Ti^2 \quad (2.37)$$

f. 2oo4

$$PFD_{avg} = \lambda^3 x Ti^3 \quad (2.38)$$

Untuk mengetahui rata-rata PFD, digunakan persamaan berikut (Nur Rahmawati, Dewi. 2013) :

$$PFD_{Avg\ element} = \frac{\lambda\ element\ x\ Ti\ element}{2} \quad (2.39)$$

Dari PFD total dapat diketahui nilai RRF (*Risk Reduction Factor*) sebagai berikut (Kristianingsih, 2013) :

$$RRF = \frac{1}{PFD} \quad (2.40)$$

$$PFD_{Avg\ SIF} = PFD_{Avg\ Sensor} + PFD_{Avg\ Logic\ Solver} + PFD_{Avg\ Final\ Element} \quad (2.41)$$

Tabel 2.1 PFD (*Probability of Failure on Demand*) (plc, 2002)

SIL	PFD	RRF
4	10^{-5} s/d 10^{-4}	100000 s/d 10000
3	10^{-4} s/d 10^{-3}	10000 s/d 1000
2	10^{-3} s/d 10^{-2}	1000 s/d 100
1	10^{-2} s/d 10^{-1}	100 s/d 10

Untuk mendapatkan nilai SIL, maka nilai PFD atau RRF yang sudah didapatkan dibandingkan dengan tabel acuan standar.

2.8 Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Tree Analysis (FTA) merupakan metode analisa, dimana terdapat suatu kejadian yang tidak diinginkan (*undesired event*) terjadi pada system. Kemudian dilakukan analisa dengan mengamati kondisi lingkungan dan operasional yang ada untuk menemukan semua cara yang mungkin terjadi yang mengarah pada terjadinya kejadian yang tidak diinginkan tersebut (Vesely, 1981).

Menurut Edward M. Marszal, *Fault Tree Analysis* (FTA) merupakan metode pendekatan secara *top-down* untuk menggambarkan kegagalan yang terjadi pada suatu sistem. Pendekatan dilakukan dari *top event* yang merupakan hasil dari kegagalan kejadian awal (*basic event*) sehingga menyebabkan kegagalan pada sistem. Logika yang digunakan pada FTA tidak hanya menjelaskan mengenai bagaimana kegagalan itu terjadi tetapi juga menghitung kemungkinan kegagalan itu terjadi. Selain itu metode ini juga menentukan parameter-parameter penting dan sensitivitas dari sebuah sistem (Marszal dan Scharpf, 2002).

FTA menggunakan simbol-simbol yang menjelaskan hubungan logika pada kejadian dan kegagalan yang terjadi. Selain itu juga digunakan gerbang logika yang menghubungkan kejadian awal sehingga didapatkan *top event* sebagai hasilnya, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Gerbang logika yang banyak digunakan adalah gerbang logika AND dan OR. Penggunaan gerbang logika AND secara kualitatif menyatakan bahwa nilai *output* akan bernilai *true* bila semua *input* bernilai *true*. Sedangkan penggunaan gerbang logika AND secara kuantitatif yaitu *output* akan didapatkan dengan mengalikan kemungkinan (*probability*) yang terjadi dan mengasumsikan bahwa *input* kejadian bersifat independen. Hal tersebut berbeda dengan gerbang logika OR dimana penggunaan gerbang logika OR secara kualitatif berarti bahwa *output* akan bernilai *true* apabila terdapat satu atau lebih *input* yang bernilai *true*. Sedangkan secara kuantitatif *output* didapatkan dengan menambahkan kemungkinan (*probability*) yang terjadi (Marszal dan Scharpf, 2002; Baybutt, 2007).

Berikut simbol yang sering digunakan pada *Fault Tree Analysis* (FTA).

Tabel 2.2 Simbol pada *Fault Tree Analysis* (FTA)

Gambar	Fungsi	Keterangan
	AND Gate	Kejadian <i>output</i> akan terjadi jika dan hanya jika semua kejadian <i>input</i> terjadi.
	OR Gate	Kejadian <i>output</i> akan terjadi jika salah satu kejadian <i>input</i> atau lebih yang terjadi.
	Basic Event	Awal terjadinya kegagalan. Simbol tersebut merupakan simbol awal dalam desain FTA.

Tabel 2.2 Simbol pada *Fault Tree Analysis* (FTA) (Lanjutan)

Gambar	Fungsi	Keterangan
	<i>Undesired Event</i>	Kejadian yang tidak dikehendaki.
	<i>Intermediate Event</i>	Sebuah kejadian yang terjadi sebagai akibat dari kombinasi logika dari peristiwa lainnya.
	<i>Inhibit Gate</i>	Suatu keadaan yang menerapkan kondisi atau pembatasan dengan urutan yang harus dipenuhi sehingga keluaran dapat dihasilkan

Pada *Fault Tree Analysis* (FTA) menggunakan simbol untuk mempermudah merepresentasikan penyebab dan akibat antar kejadian.

2.9 *Independent Protection Layer* (IPL)

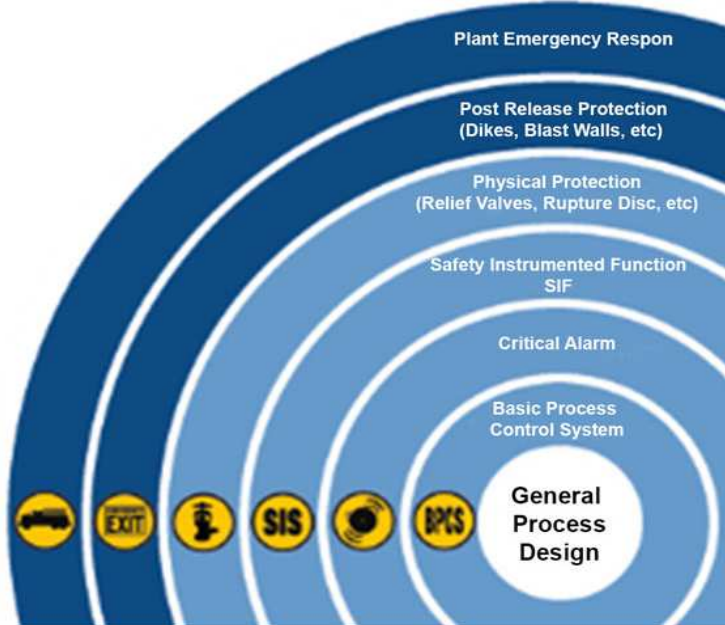
Independent Protection Layer adalah sebuah alat, sistem, atau tindakan yang dapat mencegah skenario berproses menjadi *consequence* yang tidak diinginkan dari *initiating events*. Efektivitas IPL dihitung dengan istilah *Probability Failure on Demand* (PFD) yang merupakan kemungkinan suatu sistem akan gagal melaksanakan fungsinya yang spesifik.

Karakteristik lapisan perlindungan dan bagaimana seharusnya dikelompokkan sebagai IPL dalam metode LOPA dibahas pada penjelasan di bawah ini: (CCPS, 2001)

1. *Process*

Pada banyak perusahaan, diasumsikan bahwa beberapa skenario tidak dapat terjadi karena desain yang *inherently safer* pada peralatan dan proses. Pada perusahaan lainnya, beberapa fitur pada desain proses yang *inherently safer* dianggap *nonzero* PFD masih terjadi-artinya masih mungkin mengalami kegagalan

industri. Desain proses harus dianggap sebagai IPL, atau ditetapkan sebagai metode untuk mengeliminasi skenario, tergantung pada metode yang digunakan oleh industri.



Gambar 2.13 *Independent Protection Layer Diagram*

2. *Basic Process Control System (BPCS)*

BPCS meliputi kendali manual normal, adalah level perlindungan pertama selama operasi normal. BPCS didesain untuk menjaga proses berada pada area aman. Operasi normal dari BPCS *control loop* dapat dimasukkan sebagai IPL jika sesuai kriteria. Ketika memutuskan menggunakan BPCS sebagai IPL, analis harus mengevaluasi efektivitas akses kendali dan sistem keamanan ketika kesalahan manusia dapat menurunkan kemampuan BPCS.

3. *Critical Alarms*

Sistem ini merupakan level perlindungan kedua selama operasi normal dan harus diaktifkan oleh BPCS. Tindakan operator, diawali dengan alarm atau observasi, dapat dimasukkan

sebagai IPL ketika berbagai kriteria telah dapat memastikan keefektifan tindakan.

4. *Safety Instrumented Function (SIF)*

SIF adalah kombinasi sensor, *logic solver*, dan *final element* dengan tingkat integritas keselamatan spesifik yang mendeteksi keadaan diluar batas dan membawa proses berada pada fungsi yang aman. SIF merupakan fungsi *independent* dari BPCS. SIF normalnya ditetapkan sebagai IPL dan desain dari suatu sistem, tingkat pengurangan, dan jumlah dan tipe pengujian akan menentukan PFD dari SIF.

5. *Physical Protection (Relief Valves, Rupture Disc, etc)*

Alat ini, ketika ukuran, desain, dan perawatannya sesuai, adalah IPL yang dapat menyediakan perlindungan tingkat tinggi untuk mencegah tekanan berlebih. Keefektifan alat ini dapat rusak akibat kotor dan korosi, jika *block valves* dipasang di bawah *relief valve*, atau jika aktivitas inspeksi dan perawatan sangat memprihatinkan.

6. *Post Release Protection (Dikes, Blast Walls, etc)*

IPLs ini adalah alat pasif yang dapat menyediakan perlindungan tingkat tinggi jika didesain dan dirawat dengan benar. Walaupun laju kegagalan rendah, kemungkinan gagal harus dimasukkan dalam skenario.

7. *Plant Emergency Respons*

Fitur ini (pasukan pemadam kebakaran, sistem pemadaman manual, fasilitas evakuasi, dll) secara normal tidak ditetapkan sebagai IPLs karena diaktifkan setelah pelepasan awal dan terlalu banyak variabel mempengaruhi keseluruhan efektivitas dalam mengurangi skenario.

2.10 *Target Mitigated Event Likelihood (TMEL)*

Untuk menentukan PFD pada sistem, dilakukan perhitungan dengan cara membagi nilai *Target Mitigated Event Likelihood* (TMEL). Target pengurangan kemungkinan kejadian merupakan data dari perusahaan mengenai target pencegahan kemungkinan bahaya yang terjadi dari suatu konsekuensi. Nilai $IEL \leq TMEL$

agar tidak diperlukan pengurangan risiko. Nilai TMEL ditampilkan pada tabel 2.3 berikut ini.

Tabel 2.3 *Target Mitigated Event Likelihood (TMEL)* (Lassen, 2008)

Severity Level	Safety Consequences	Target Mitigated Event Likelihood/year
C _A	Satu orang mengalami cedera (<i>single first aid injury</i>)	3,E-02
C _B	Banyak orang mengalami cedera (<i>multiple first aid injuries</i>)	3,E-03
C _C	Satu orang mengalami cacat fisik atau banyak orang mengalami cedera serius (<i>single disabling injury or multiple serious injuries</i>)	3,E-04
C _D	Kematian tunggal di lokasi kejadian (<i>single on-site fatality</i>)	3,E-05
C _E	Kematian lebih dari satu sampai tiga di lokasi kejadian (<i>more than one and up to three on-site fatalities</i>)	1,E-05

Setelah menentukan TMEL dan IEL dari hasil perkalian dari masing-masing lapisan pelindung, maka akan didapatkan PFD_{AVG}.

$$PFD_{AVG} = \frac{TMEL}{T(P)} \quad (2.42)$$

Nilai PFD_{AVG} ini adalah nilai PFD yang disesuaikan dengan nilai SIL berdasarkan ketentuan IEC 61511.

2.11 Metode *Risk Graph*

Risk Graph merupakan metode penentuan SIL dengan pendekatan kualitatif atau semi kuantitatif berdasarkan nilai

konsekuensi dan frekuensi kejadian bahaya. Metode Risk Graph secara kuantitatif mempunyai parameter yang sama dengan risk graph kualitatif tetapi pada semikuantitatif klasifikasi parameter disertai angka. Pengklasifikasian parameter risk graph berdasarkan angka biasa disebut dengan *Calibrated Risk Graph* (Christopher A. Lassen, 2008).

Penentuan SIL dimulai dengan menentukan equipment yang berpotensi menimbulkan bahaya. Secara matematis metode *risk graph* digambarkan melalui persamaan berikut

$$R = (f) \text{ of a spesified } (C) \quad (2.43)$$

Dengan :

R = resiko dengan tidak adanya pengaman pada lingkungan tersebut.

f = frekuensi kejadian bahaya dengantidak adanya pengaman pada lingkungan tersebut.

C = Konsekuensi kejadian bahaya (konsekuensi dapat berhubungan dengan kesehatan dan kerusakan lingkungan).

Parameneter konsekuensi menunjukkan tingkat keparahan rata-rata akibat kejadian bahaya pada suatu daerah. Ketika suatu proses berada pada keadaan diluar kendali (*out of control*) maka potensi energi pada proses seperti temperatur, tekanan dan reaksi kimia berpotensi untuk bocor. Pada metode *risk graph* parameter konsekuensi digunakan untuk menganalisa tingkat keparahan yang diterima oleh seseorang yang berada pada suatu area berbahaya. Konsep ini dikenal dengan istilah *Probable Loss Of Life* (PLL) yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$PLL = O_{\text{person}} \times V \quad (2.44)$$

dimana:

PLL = potensi kematian (*probability loss of life*)

O_{person} = kepemilikan (*occupancy*)

V = kerentanan (*vulnerability*)

Occupancy menyatakan suatu frekuensi suatu area dikunjungi oleh pekerja. *Occupancy* menyatakan fungsi luas dampak bahaya

dengan densitas manusia yang ada di area tersebut. Nilai *occupancy* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut:

$$F = A_{\text{effect}} \times \rho_{\text{person}} \quad (2.45)$$

dimana:

F adalah frekuensi kunjungan (*occupancy*)

A_{effect} adalah luas dampak bahaya (m^2)

ρ_{person} adalah densitas manusia

Densitas manusia diketahui melalui jumlah dan durasi operator di lapangan serta luas dampak bahaya (*effect zone*).

Vulnerability (V) merupakan fungsi konsentrasi bahaya dengan durasi seseorang terpapar oleh kejadian bahaya. Nilai tersebut dapat ditentukan berdasarkan tabel berikut:

Tabel 2.4 Kategori *Vulnerability* (IEC 61511, 2003)

Parameter <i>Vulnerability</i>	Klasifikasi
0.01	Kebocoran ringan pada bahan yang beracun mudah terbakar
0.1	Kebocoran besar pada bahan yang beracun mudah terbakar
0.5	Kebocoran seperti diatas dengan bahan yang menyebabkan timbulnya api dan sangat beracun
1	Pecah atau meledak

Nilai *vulnerability* ditentukan berdasarkan besar dampak yang dihasilkan akibat terjadinya kerusakan pada komponen dimana semakin besar dampak yang ditimbulkan maka nilai *vulnerability* akan semakin besar.

Parameter-parameter digunakan untuk mendapatkan nilai *Probability Loss of Life* (PLL) yang terbagi menjadi beberapa kategor seperti dibawah ini.

Tabel 2.5 Kategori PLL (Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511, 2003)

Parameter Resiko	Klasifikasi
C_A	Luka ringan
C_B	PLL = 0.01-0.1
C_C	PLL = 0.1-1
C_D	PLL >1

Penentuan dampak terhadap lingkungan berdasarkan tingkat kerusakan komponen yang berpotensi menimbulkan pelepasan fluida proses. Berikut merupakan parameter penentuan dampak konsekuensi terhadap lingkungan:

Tabel 2.6 Kategori Konsekuensi terhadap Lingkungan (Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511, 2003)

Parameter Resiko	Klasifikasi
C_A	Pelepasan fluida proses dengan kerusakan ringan.
C_B	Pelepasan fluida proses di dalam pagar batas plant yang menyebabkan kerusakan yang signifikan.
C_C	Pelepasan fluida proses keluar dari pagar batas plant menyebabkan kerusakan berat yang dapat diatasi dengan cepat atau tanpa menyebabkan konsekuensi yang signifikan.
C_D	Pelepasan fluida proses keluar dari pagar batas plant yang menyebabkan kerusakan berat dan tidak dapat diatasi dengan cepat atau menyebabkan konsekuensi yang signifikan.

Konsekuensi terhadap keuangan (*finance*) ditentukan berdasarkan estimasi biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan apabila terjadi kerusakan ataupun kegagalan pada komponen.

Sedangkan kriteria penentuan konsekuensi berdasarkan besar biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan (*finance*) dapat ditentukan berdasarkan tabel berikut ini.

Tabel 2.7 Kategori Konsekuensi terhadap Keuangan (Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511, 2003)

Parameter Resiko	Klasifikasi
C_A	<US\$10.000
C_B	US\$10.000-US\$100.000
C_C	US\$100.000-US\$1M
C	US\$1M-US\$10M

Occupancy merupakan parameter yang menyatakan frekuensi suatu area dikunjungi oleh manusia. Parameter ini ditentukan dengan mengetahui lama area tersebut dikunjungi pada keadaan normal (*normal operation*) serta densitas kunjungan yang dilakukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$F = \left(\frac{\text{Durasi di Plant}}{\text{Waktu Operasi}} \right) \times 100\% \quad (2.46)$$

Adapun tabel parameter dan klasifikasi dari *occupancy* dapat diketahui sebagai berikut:

Tabel 2.8 Kategori *Occupancy* (Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511, 2003)

Parameter Resiko		Klasifikasi
<i>Occupancy</i> / Frekuensi kunjungan	F_A	Frekuensi pada area berbahaya kurang dari 10%
	F_B	Frekuensi berada pada area berbahaya tinggi

Probability of Avoidance (P) menyatakan kemungkinan manusia atau pekerja menghindari dampak bahaya yang timbul akibat terjadi kerusakan pada komponen.

Tabel 2.9 Kategori *Probability of Avoidance* (Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511, 2003)

Parameter Resiko		Klasifikasi
<i>Probability of avoidance /</i> Kemungkinan menghindari bahaya	P _A	Kemungkinan bahaya dapat dicegah dengan kriteria seperti dibawah ini: 1. Adanya alarm atau pemberitahuan kepada operator bahwa SIS mengalami kegagalan. 2. Adanya fasilitas yang disediakan ketika bahaya terjadi dan semua orang dapat menyelamatkan diri dari area bahaya 3. Waktu antara peringatan ke operator dan kejadian tidak lebih dari 1 jam atau setidaknya dapat dilakukan tindakan cepat
	P _B	Apabila kondisi-kondisi tersebut tidak dipenuhi

Demand rate (W) merupakan frekuensi kerusakan atau kegagalan pada suatu komponen terjadi setiap tahun. Parameter ini dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$W = \frac{\text{Waktu Operasi}}{MTTF} \quad (2.47)$$

Nilai tersebut digunakan untuk menentukan kategori *demand rate* seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 2.10 Kategori *Demand rate* (Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511, 2003)

Parameter Resiko		Klasifikasi
Probabilitas (W) kejadian yang tidak diinginkan (<i>Demand Rate</i>)	W _A	<i>Demand rate</i> < 0.03 per tahun
	W _B	0.03 < <i>Demand Rate</i> < 0.3
	W _C	0.3 < <i>Demand Rate</i> < 3

Menentukan nilai SIL dengan metode *risk graph* diawali dengan mencari nilai dari setiap parameter yang ada. Dengan diagram pada gambar 2.11 mengenai skema *risk graph*, maka diketahui proses penentuan nilai SIL berdasarkan alur penentuan parameter yang ada.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Adapun tahapan dalam penelitian tugas akhir ini dijelaskan sebagai berikut:

3.1 Studi Literatur dan Studi Lapangan

Studi lapangan diawali dengan mempelajari proses serta kendala yang terdapat pada unit *Boiler* (B-6203), kemudian mempelajari literatur seperti buku, jurnal, dan internet untuk mendapatkan informasi maupun data-data yang diinginkan berkaitan dengan data *maintenance* dan perhitungan untuk menentukan nilai keandalan sistem serta nilai SIL dengan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) ataupun *risk graph*.

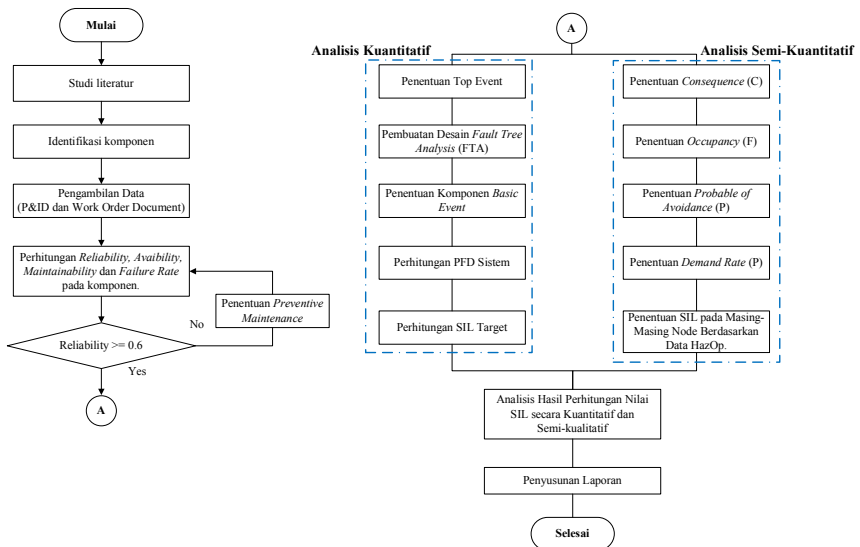
3.2 Identifikasi Komponen

Dalam observasi lapangan diketahui bahwa komponen-komponen yang dapat mempengaruhi parameter serta proses produksi *steam* pada unit *Boiler* (B-6203), yaitu terdapat pada empat *node*. *Node* tersebut adalah *Economizer*, *Steam Drum*, *Superheater* dan *Burner*.

3.3 Pengambilan Data

Dalam tugas akhir kali ini telah dilakukan pengambilan data *Work Order Document*, *P&ID*, serta melakukan wawancara secara langsung, baik dengan operator maupun pembimbing lapangan. Adapun data *maintenance* difokuskan pada komponen *Boiler* (B-6203) dengan rentang waktu tahun 2005 hingga tahun 2015.

Berdasarkan data *Work Order Document* yang telah diperoleh, maka dapat dilakukan perhitungan nilai *Time to Repair* (TTR) dan *Time to Failure* (TTF) pada masing-masing komponen penyusun unit *Boiler* (B-6203).

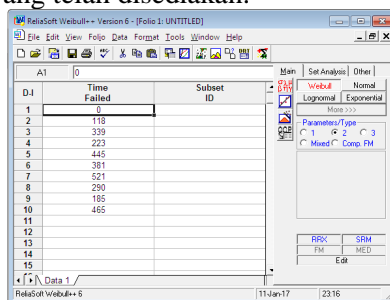


Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir

3.4 Perhitungan *Reliability*, *Availability*, *Maintainability* dan *Failure Rate* pada Komponen

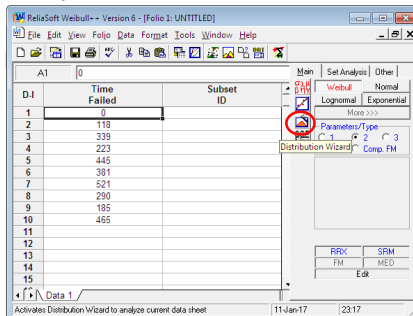
Tahapan dalam metode kuantitatif, dilakukan analisis nilai *reliability*, *availability*, *maintainability* dan *failure rate*. Sebelum mendapatkan nilai tersebut, perlu dilakukan penentuan distribusi dengan menggunakan *Software* Reliasoft Weibull version 6, sebagai berikut:

1. Memasukkan data *Time to Failure* (TTF) yang telah diperoleh pada form yang telah disediakan.



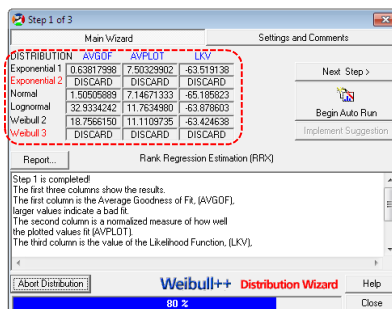
Gambar 3.2 Input Data TTF

2. Mulai dilakukan uji distribusi dengan memilih *Option Distribution Wizard*.



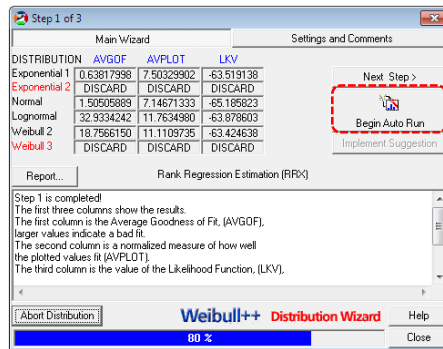
Gambar 3.3 *Option Distribution Wizard*

3. Setelah memilih *Option Distribution Wizard*, maka akan mendapatkan parameter uji *Average Goodness of Fit* (AVGOF), dimana semakin besar nilai pada kolom ini mengindikasikan ketidaksesuaian hasil uji distribusi. Parameter uji *Average of Plot Fit* (AVPLOT) menunjukkan ukuran yang digunakan untuk menentukan nilai hasil uji distribusi dan parameter uji *Likelihood Function* (LKV). Nilai LKV yang paling kecil merupakan nilai terbaik untuk hasil uji distribusi.



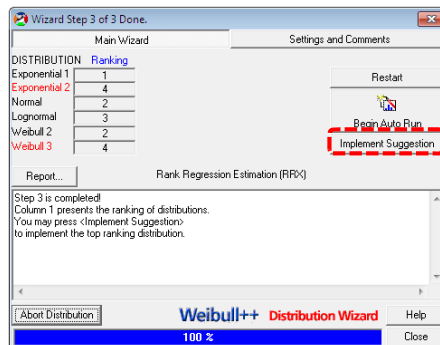
Gambar 3.4 Pengujian Distribusi Weibull

4. Ranking hasil uji distribusi terbaik dapat dilihat pada *option Begin Auto Run*.



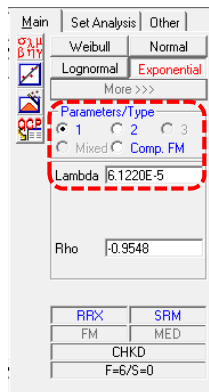
Gambar 3.5 Begin Auto Run

5. Pada setiap distribusi, menunjukkan hasil ranking. Ranking pada urutan terkecil menunjukkan hasil distribusi terbaik. Langkah terakhir terdapat *Implement Suggestion* yang menunjukkan distribusi serta parameter distribusi dari data yang diuji.



Gambar 3.6 Ranking Distribusi

6. Penentuan parameter-parameter disesuaikan dengan hasil distribusi terbaik sebelumnya. Pengujian distribusi yang dapat meliputi distribusi *normal*, *lognormal*, *eksponensial 1* parameter, *eksponensial 2* parameter, *weibull 2* parameter, dan *weibull 3* parameter. Hasil pengujian tersebut didapatkan parameter-parameter kegagalan dari pemilihan distribusi terbaik.



Gambar 3.7 Nilai Parameter Distribusi

Setelah diperoleh parameter dengan pemilihan distribusi terbaik, kemudian dilakukan analisa *reliability*, *maintainability*, *availability* serta *failure rate* dengan menggunakan parameter tersebut.

Pada analisa *reliability*, dilakukan penentuan waktu operasional ketika komponen mencapai keandalan minimum perusahaan, yakni 0,6. Nilai keandalan tersebut mempengaruhi apakah komponen perlu dilakukan *preventive maintenance* jika keandalan diperoleh kurang dari 0,6.

3.5 Analisa Kuantitatif dengan Metode *Fault Tree Analysis*

Analisa kuantitatif dilakukan untuk mengetahui nilai *Safety Integrity Level* (SIL) berdasarkan performansi komponen-komponen yang ada pada unit *Boiler* (B-6203).

3.5.1 Penentuan *Top Event*

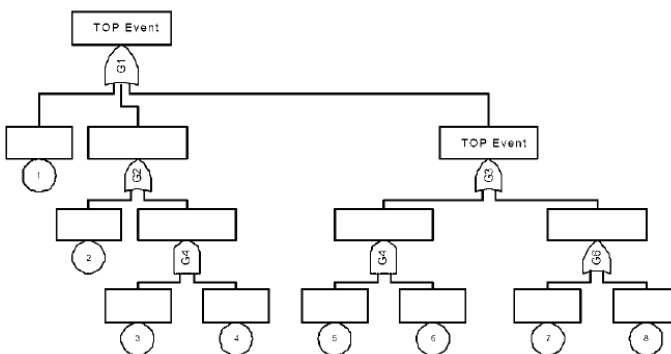
Menurut Blanchard (2004), suatu *top level event* mempunyai beberapa persyaratan, yaitu *clearly*, *observable*, *unambiguous definable* dan *measurable*. *Top event* pada analisis metode FTA kali ini yaitu kegagalan pada unit *Boiler* (B-6203).

3.5.2 Pembuatan Desain *Fault Tree Analysis* (FTA)

Pada desain FTA, *top event* berada pada posisi paling atas dengan bentuk simbol persegi panjang. Desain FTA ditentukan dengan menentukan logika AND atau logika OR, dimana logika tersebut berpengaruh pada perhitungan nilai SIL dengan menggunakan *Aljabar Boolean*. Macam-macam simbol pada FTA dapat dilihat pada tabel 2.2.

3.5.3 Penentuan Komponen *Basic Event*

Kumpulan *basic event* dan atau kombinasinya yang dapat menyebabkan munculnya *top level event*. Kumpulan *basic event* tersebut menyebabkan kegagalan yang terjadi pada unit B-6203. Kumpulan *basic event* kali ini dibagi atas komponen yang berada pada *Independent Protection Layer* (IPL), yaitu *general process design*, *Basic Process Control System* (BPCS), *critical alarm* dan *additional mitigations*.



Gambar 3.8 Skema *Fault Tree Analysis* (FTA)

3.5.4 Perhitungan PFD Sistem pada Unit B-6203

Dengan perhitungan menggunakan Aljabar Boolean, maka akan diperoleh nilai PFD sistem. Aljabar Boolean dipengaruhi oleh jenis logika AND atau logika OR yang digunakan pada kumpulan *basic event* yang telah ditentukan. Adapun persamaan pada logika AND adalah sebagai berikut (Marszal dan Scharpf, 2002):

$$PFD_{avg} = A \cap B = A \times B \quad (3.1)$$

Sementara persama logika OR pada Aljabar Boolean adalah sebagai berikut (Marszal dan Scharpf, 2002):

$$PFD_{avg} = A \cup B = A + B - (A \times B) \quad (3.2)$$

dimana:

A = *Probability Failure on Demand* (PDF) dari komponen A.

B = *Probability Failure on Demand* (PDF) dari komponen B.

3.5.5 Perhitungan Target SIL

Berdasarkan data dari perusahaan diketahui bahwa nilai *Target Mitigated Event Likelihood* (TMEL) berada pada *severity level* C_E atau dapat terjadi kematian lebih dari satu sampai tiga di lokasi kejadian. *Severity level* C_E memiliki nilai TMEL sebesar $1,0E-05$.

Targer SIL diperoleh berdasarkan perbandingan nilai TMEL terhadap nilai PFD sistem dengan desain FTA hingga diperoleh nilai PVD_{avg} . Nilai PFD_{avg} ini adalah nilai PFD yang disesuaikan dengan nilai SIL berdasarkan standart IEC 61511.

3.6 Analisa Semi-Kuantitatif dengan Metode *Risk Graph*

Analisa semi-kuantitatif dilakukan untuk mengetahui tingkat resiko yang ada pada pada unit *Boiler* (B-6203). Analisa dilakukan berdasarkan konsekuensi, frekuensi serta probabilitas menghindari bahaya apabila terjadi kegagalan.

3.6.1 Analisa *Consequence*

Parameneter konsekuensi menunjukkan tingkat keparahan rata-rata akibat kejadian bahaya pada suatu daerah. Ketika suatu proses berada pada keadaan diluar kendali (*out of control*) maka potensi energi pada proses seperti temperatur, tekanan dan reaksi kimia berpotensi untuk bocor.

Penentuan parameter *consequence* (C) atau konsekuensi dilakukan berdasarkan dampak terhadap manusia (human), lingkungan (*environment*) dan keuangan (finance). Dampak

terhadap manusia ditentukan berdasarkan kemungkinan terjadinya kematian atau luka pada pekerja atau *Probable Loss of Life* (PLL). Penentuan PLL terdapat *vulnerability* (V) yang menyatakan tingkat keparahan dampak yang ditimbulkan serta kecenderungan pekerja berada di daerah tersebut. Sedangkan penentuan konsekuensi terhadap lingkungan ditentukan berdasarkan tingkat kerusakan komponen yang berpotensi menimbulkan kebocoran.

3.6.2 Analisa *Occupancy*

Occupancy (F) menyatakan suatu frekuensi suatu area dikunjungi oleh pekerja. *Occupancy* menyatakan fungsi luas dampak bahaya dengan densitas manusia yang ada di area tersebut.

Penentuan *occupancy* atau frekuensi kunjungan dilakukan berdasarkan lama pekerja berada pada unit B-6203 selama waktu operasi yaitu 24 jam. Dalam satu hari terdapat tiga shift pekerja, dimana pada masing-masing shift tersebut terdapat satu pekerja yang berada dilapangan selama tiga jam.

3.6.3 Analisa *Probability of Avoidance*

Probability of Avoidance (P) menyatakan kemungkinan manusia atau pekerja menghindari dampak bahaya yang timbul akibat terjadi kerusakan pada komponen.

Klasifikasi kriteria *probability of avoidance* berdasarkan beberapa kriteria yang terdapat pada IEC 61511. Adapun kriteria tersebut mencakup beberapa kemungkinan pencegahan bahaya yang dapat dilakukan selama unit B-6203 bekerja. Terdapat dua klasifikasi yaitu Pa dan Pb. Kategori Pa akan dipilih apabila kriteria pada IEC 61511 terpenuhi sedangkan Pb akan dipilih apabila kriteria tersebut tidak terpenuhi.

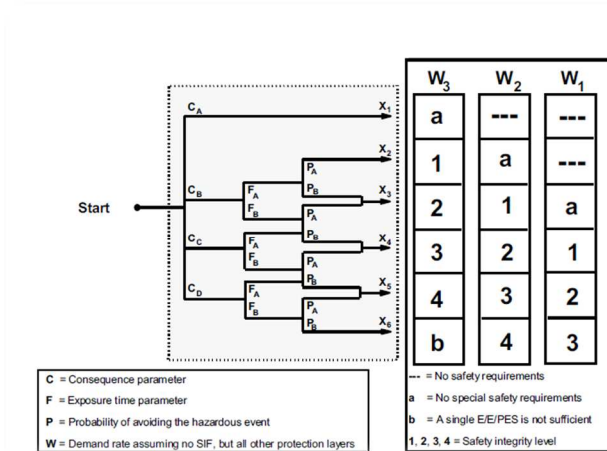
3.6.4 Analisa *Demand Rate*

Demand rate (W) merupakan frekuensi kerusakan atau kegagalan pada suatu komponen terjadi setiap tahun. Pada umumnya *demand rate* dinyatakan per tahun, dimana nilai tersebut diperoleh berdasarkan lama waktu operasi dibagi dengan rata-rata waktu kerusakan komponen. Dalam menentukan nilai *demand rate*, dapat digunakan pula nilai *likelihood* yaitu dengan

mengetahui nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) dari masing-masing komponen.

3.6.5 Penentuan SIL

Penentuan SIL dengan metode *risk graph* dapat diperoleh berdasarkan alur pada skema *risk graph* pada gambar 3.9 dibawah ini:



Gambar 3.9 Skema *Risk Graph* (Marszal dan Scharpf, 2002)

3.7 Analisis Hasil Perhitungan Nilai SIL secara Kuantitatif dan Semi-Kuantitatif

Dengan menggunakan metode yang beda, dilakukan analisa SIL pada kedua metode tersebut. Ini merupakan bagian akhir, dimana hasil dari analisis SIL tersebut dapat menjawab tujuan dari tugas akhir kali ini.

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Reliability Kuantitatif unit *Boiler* (B-6203)

Analisa kuantitatif dilakukan dengan mengidentifikasi data hhistorical maintenance serta work order, dimana akan diperoleh data TTF (*Time To Failure*) dan TTR (*Time To Repair*). Penentuan distribusi dan parameter menggunakan *software Reliasoft Weibull ++ Version 6*. Selanjutnya akan diperoleh hasil fungsi keandalan sebagai fungsi waktu $\{R(t)\}$, *maintainability* $\{M(t)\}$ dan *availability* $\{A(t)\}$ yang sesuai dengan bantuan *software* tersebut.

Boiler B-6203 merupakan unit utilitas penting dalam berjalannya pabrik III PT. Petrokimia Gresik. B-6203 merupakan *supply steam* mayoritas dengan pasokan 70 ton per hour. Tidak hanya dimanfaatkan pada *steam power generator unit*, keluaran dari B-6203 berupa *low pressure steam* dengan tekanan 10 kg/cm² dimanfaatkan pada proses pengolah produk non-pupuk, asam fosfat, asam sulfat dan produk lainnya. Meskipun B-6203 merupakan *supply steam* mayoritas, bukan berarti unit tersebut tidak memiliki kegagalan selama proses produksi. Komponen penting dalam B-6203 yaitu *steam drum*, dimana dijaga agar level water dan level wet steam tetap stabil. Apabila *level water* pada B-6203 berkurang, maka *supply steam* yang menuju *superheater* tidak akan maksimal hingga mempengaruhi pasokan steam menuju *steam turbine*. Dalam kondisi level water yang rendah pada *steam drum* akan mengaktifkan LAL6211, dimana kemudian LS611 akan bekerja untuk mengaktifkan *interlock system* untuk *shutdown plant*.

4.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diawali dengan memperoleh *maintenance data* pada dokumen *word order* perusahaan pada tahun 2006 hingga tahun 2016. Selain *maintenance data*, diperoleh P&ID (*Piping and Instrumentation Diagram*), serta *general proses description* B-6203. Dengan menganalisa rincian tagname

komponen yang digunakan pada P&ID B-6203, maka diperoleh data komponen seperti tabel 4.1 dibawah ini:

Tabel 4.1 Data Komponen Sistem Pengendalian pada *Boiler B-6203*

Node	Sensor	Controller	Actuator	Keterangan
Economizer	FT-6212	FIC-6212	FV-6212	<i>Cascade Control System</i>
Steam Drum	LT-6212	LIC-6212	FV-6212	
Superheater	FT-6213	FIC-6212	FV-6212	-
	TT-6214	TIC-6214	FV-6214	
Burner	TT-6217	PIC-6217	FV-6217	-
	FT-6217			
	PT-6217			

Tabel 4.2 Data *Critical Alarm* dan *Additional Mitigation* pada *Boiler B-6203*

Node	Critical Alarm	Additional Mitigation	Keterangan
Economizer	-	-	-
Steam Drum	LAH-6212	PSV6212	-
	LAHH-6212		
	LAL-6212		
	LALL-6212		
	LAH-6211	PSV6211	<i>Interlock System</i>
	LAHH-6211		
	LAL-6211		
	LALL-6211		
Superheater	-	PSV6213	-
Burner	PAL-6217	-	-
	PAH-6217		
	PAH-6213		

Pada tabel 4.2, diketahui bahwa pada *critical alarm* berada pada *node steam drum* dan *burner*. Sementara *additional*

mitigation equipment berupa *Pressure Safety Valve (PSV)* berada pada *node steam drum* dan *superheater* di unit Boiler (B-6203).

4.3 Pengolahan Data *Time to Failure (TTF)* dan *Time to Repair (TTR)*

Setelah menganalisa komponen yang terdapat pada B-6203, maka dilakukan analisa data *Time to Failure (TTF)* dan *Time to Repair (TTR)*.

Tabel 4.3 Data TTF dan TTR pada FT-6212

Actual Completion	Planned Start	TTR (jam)	TTF (hari)	TTF (jam)
30-05-06	30-05-06	3	0	0
28-10-12	28-10-12	1	2343	56232
28-01-16	28-01-16	1	1187	28488
Jumlah		4	3530	84720
Rata-rata		1.667	1176.667	28240

Berdasarkan analisa dengan menggunakan *software Reliasoft Weibull ++ Version 6* diperoleh pola penyebaran data *failure* atau TTF dari komponen FT-6212 dengan mengikuti pola distribusi yang sesuai.

Tabel 4.4 Analisa Distribusi Keandalan FT-6212

Pengolahan Data TTR		Pengolahan Data TTF	
Distribution	Ranking	Distribution	Ranking
Exponential 1	6	Exponential 1	3
Exponential 2	1	Exponential 2	4
Normal	4	Normal	2
Lognormal	3	Lognormal	2
Weibull 2	5	Weibull 2	1
Weibull 3	2	Weibull 3	4

Berdasarkan data pada tabel 4.4, maka diketahui laju distribusi terbaik bagi masing-masing komponen. Pada FT-6212,

data TTR memiliki laju distribusi terbaik berupa distribusi exponential 2, dengan nilai parameter $\alpha = 0.6299$ dan $\gamma = 0.3423$. Sementara pada data TTF dengan laju distribusi terbaik berupa distribusi Weibull 2 diperoleh nilai parameter $\beta = 1.8603$ dan $\eta = 50355$.

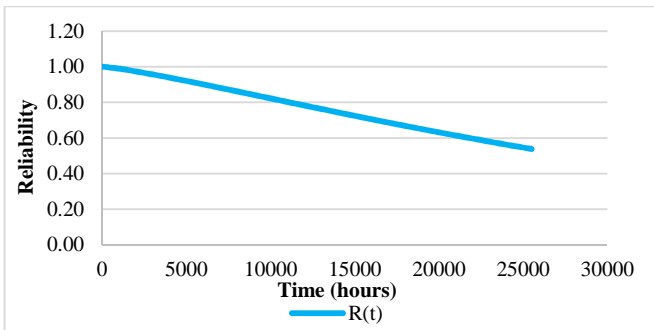
Berdasarkan data distribusi dan parameter tersebut, maka akan digunakan untuk mencari fungsi keandalan sebagai fungsi waktu ($R(t)$), maintainability ($M(t)$), dan availability ($A(t)$).

4.4 Hasil Perhitungan Nilai *Reliability*

Setelah memperoleh data TTF serta TTR, maka dari setiap komponen satu per satu dilakukan analisa *reliability* (keandalan) serta analisa *reliability* dengan *preventive maintenance*.

4.4.1 Fungsi *Reliability* pada FT-6212

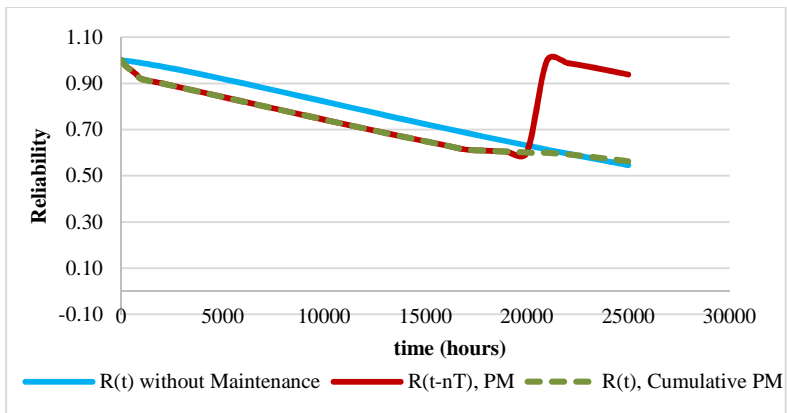
Pada komponen FT-6212 yang merupakan salah satu komponen pada *economizer* menggunakan distribusi Weibull 2 sebagai fungsi keandalannya. Nilai keandalan komponen diperoleh pada rentang waktu 100 jam hingga 26000 jam.



Gambar 4.1 Grafik *Reliability* FT-6212

Dengan menganalisa gambar 4.1, maka diketahui nilai keandalan komponen FT-6212 akan menurun hingga nilai keandalan 0.6 atau 60% diperoleh pada waktu 21750 jam. Komponen FT-6212 dapat bekerja dengan kinerja yang baik hingga 2.5 tahun atau 21750 jam.

Fungsi *reliability* dengan *preventive maintenance* adalah untuk mengetahui analisa rentang waktu dalam melaksanakan *maintenance*. Analisa menggunakan keandalan minimum yaitu 0.6 atau 60% sebagai batas kinerja komponen dapat bekerja secara baik. Rentang waktu perhitungan *reliability* dengan *preventive maintenance* dilakukan pada 100 jam hingga 21750 jam, hingga diperoleh grafik sebagai berikut:



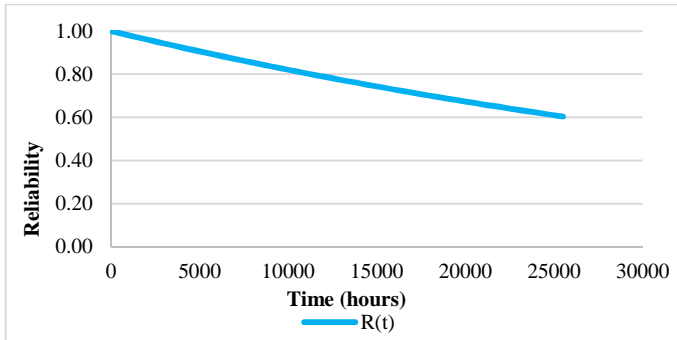
Gambar 4.2 Grafik *Reliability* dengan *Preventive Maintenance* FT-6212

Berdasarkan gambar 4.2, maka ketahui komponen FT-6212 memerlukan *preventive maintenance* sebanyak 1 kali dalam kurun waktu kurang lebih 3 tahun. Garis biru pada gambar 4.2 menunjukkan laju *reliability* tanpa adanya *preventive maintenance*, sedangkan garis merah merupakan laju *reliability* dengan *preventive maintenance*. Setelah dilakukan *preventive maintenance*, maka nilai keandalan meningkat seperti yang ditunjukkan oleh garis putus-putus berwarna hijau.

4.4.2 Fungsi Reliability pada FIC-6212

Pada komponen FIC-6212 yang merupakan salah satu komponen pada *economizer* menggunakan distribusi Exponential

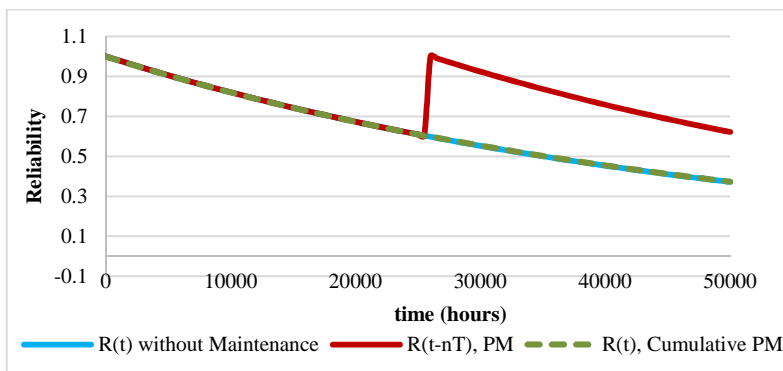
1 sebagai fungsi keandalannya. Nilai keandalan komponen diperoleh pada rentang waktu 100 jam hingga 26000 jam.



Gambar 4.3 Grafik *Reliability* FIC-6212

Dengan menganalisa gambar 4.3, maka diketahui nilai keandalan komponen FIC-6212 akan menurun hingga nilai keandalan 0.6 atau 60% diperoleh pada waktu 22500 jam. Komponen FT-6212 dapat bekerja dengan kinerja yang baik hingga lebih kurang 2.5 tahun atau 22500 jam.

Dalam rentang waktu perhitungan *reliability* dengan *preventive maintenance* dilakukan pada 100 jam hingga 22500 jam, hingga diperoleh grafik sebagai berikut:



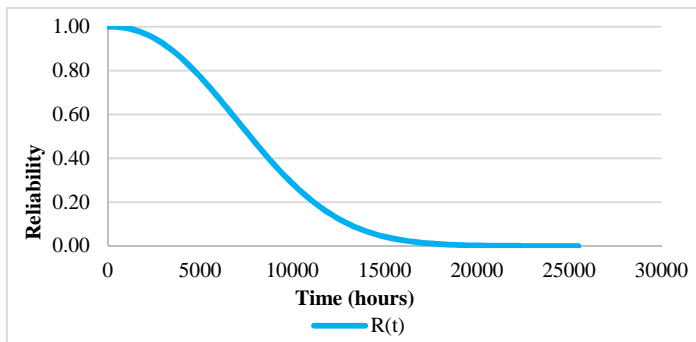
Gambar 4.4 Grafik *Reliability* dengan *Preventive Maintenance* FIC-6212

Fungsi *reliability* dengan *preventive maintenance* adalah untuk mengetahui analisa rentang waktu dalam melaksanakan *maintenance*. Analisa menggunakan keandalan minimum yaitu 0.6 atau 60% sebagai batas kinerja komponen dapat bekerja secara baik.

Berdasarkan gambar 4.4, maka ketahui komponen FIC-6212 memerlukan *preventive maintenance* sebanyak 1 kali dalam kurun waktu lebih kurang 3 tahun. Garis biru pada gambar 4.4 menunjukkan laju *reliability* tanpa adanya *preventive maintenance*, sedangkan garis merah merupakan laju *reliability* dengan *preventive maintenance*. Setelah dilakukan *preventive maintenance*, maka nilai keandalan meningkat seperti yang ditunjukkan oleh garis putus-putus berwarna hijau.

4.4.3 Fungsi Reliability pada LT-6212

Pada komponen LT-6212 yang merupakan salah satu komponen pada *steam drum* menggunakan distribusi Weibull 2 sebagai fungsi keandalannya. Nilai keandalan komponen diperoleh pada rentang waktu 100 jam hingga 26000 jam.

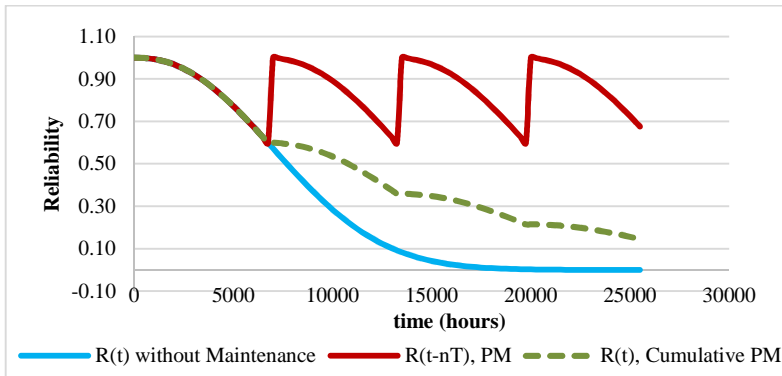


Gambar 4.5 Grafik *Reliability* LT-6212

Dengan menganalisa gambar 4.5, maka diketahui nilai keandalan komponen LT-6212 akan menurun hingga nilai keandalan 0.6 atau 60% diperoleh pada waktu 6750 jam.

Komponen LT-6212 dapat bekerja dengan kinerja yang baik hingga kurang dari 1 tahun atau 6750 jam.

Fungsi *reliability* dengan *preventive maintenance* adalah untuk mengetahui analisa rentang waktu dalam melaksanakan *maintenance*. Analisa menggunakan keandalan minimum yaitu 0.6 atau 60% sebagai batas kinerja komponen dapat bekerja secara baik. Rentang waktu perhitungan *reliability* dengan *preventive maintenance* dilakukan pada 100 jam hingga 6750 jam, hingga diperoleh grafik sebagai berikut:



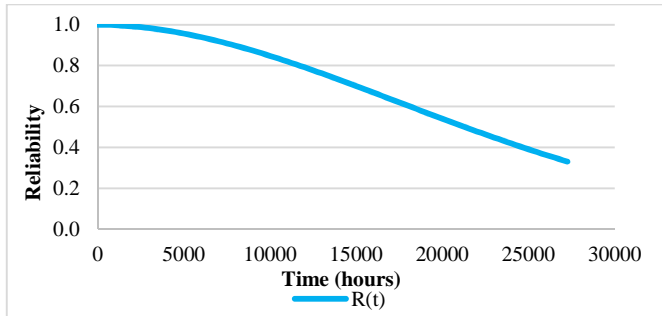
Gambar 4.6 Grafik *Reliability* dengan *Preventive Maintenance* LT-6212

Berdasarkan gambar 4.6, maka ketahuilah komponen LT-6212 memerlukan *preventive maintenance* sebanyak 4 kali dalam kurun waktu kurang dari 3 tahun. Garis biru pada gambar 4.6 menunjukkan laju *reliability* tanpa adanya *preventive maintenance*, sedangkan garis merah merupakan laju *reliability* dengan *preventive maintenance*. Setelah dilakukan *preventive maintenance*, maka nilai keandalan meningkat seperti yang ditunjukkan oleh garis putus-putus berwarna hijau.

4.4.4 Fungsi Reliability pada LIC-6212

Pada komponen LIC-6212 yang merupakan salah satu komponen pada *steam drum* menggunakan distribusi Weibull 2

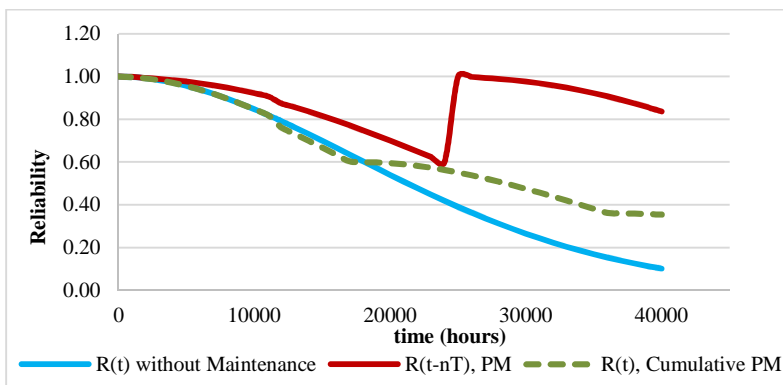
sebagai fungsi keandalannya. Nilai keandalan komponen diperoleh pada rentang waktu 100 jam hingga 26000 jam.



Gambar 4.7 Grafik *Reliability* LIC-6212

Dengan menganalisa gambar 4.7, maka diketahui nilai keandalan komponen LIC-6212 akan menurun hingga nilai keandalan 0.6 atau 60% diperoleh pada waktu 18000 jam. Komponen LIC-6212 dapat bekerja dengan kinerja yang baik hingga lebih kurang 2 tahun atau 18000 jam.

Rentang waktu perhitungan *reliability* dengan *preventive maintenance* dilakukan pada 100 jam hingga 18000 jam, hingga diperoleh grafik sebagai berikut:



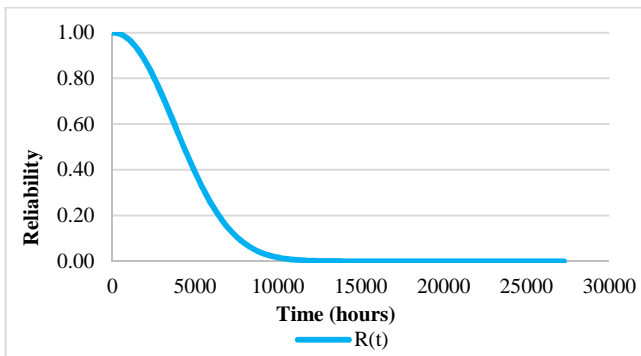
Gambar 4.8 Grafik *Reliability* dengan *Preventive Maintenance* LIC-6212

Fungsi *reliability* dengan *preventive maintenance* adalah untuk mengetahui analisa rentang waktu dalam melaksanakan *maintenance*. Analisa menggunakan keandalan minimum yaitu 0.6 atau 60% sebagai batas kinerja komponen dapat bekerja secara baik.

Berdasarkan gambar 4.8, maka ketahui komponen LIC-6212 memerlukan *preventive maintenance* sebanyak 1 kali dalam kurun waktu kurang lebih 2 tahun. Garis biru pada gambar 4.8 menunjukkan laju *reliability* tanpa adanya *preventive maintenance*, sedangkan garis merah merupakan laju *reliability* dengan *preventive maintenance*. Setelah dilakukan *preventive maintenance*, maka nilai keandalan meningkat seperti yang ditunjukkan oleh garis putus-putus berwarna hijau.

4.4.5 Fungsi Reliability pada FV-6212

Pada komponen FV-6212 yang merupakan salah satu komponen pada *pipeline inlet economizer*, dimana menggunakan distribusi Weibull 2 sebagai fungsi keandalannya. Nilai keandalan komponen diperoleh pada rentang waktu 100 jam hingga 26000 jam.

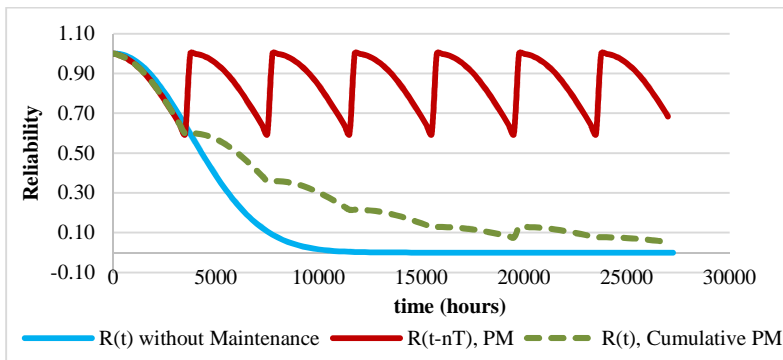


Gambar 4.9 Grafik *Reliability* FV-6212

Dengan menganalisa gambar 4.9, maka diketahui nilai keandalan komponen FV-6212 akan menurun hingga nilai keandalan 0.6 atau 60% diperoleh pada waktu 3750 jam.

Komponen FV-6212 dapat bekerja dengan kinerja yang baik hingga 3750 jam.

Fungsi *reliability* dengan *preventive maintenance* adalah untuk mengetahui analisa rentang waktu dalam melaksanakan *maintenance*. Analisa menggunakan keandalan minimum yaitu 0.6 atau 60% sebagai batas kinerja komponen dapat bekerja secara baik. Rentang waktu perhitungan *reliability* dengan *preventive maintenance* dilakukan pada 100 jam hingga 3750 jam, hingga diperoleh grafik sebagai berikut:



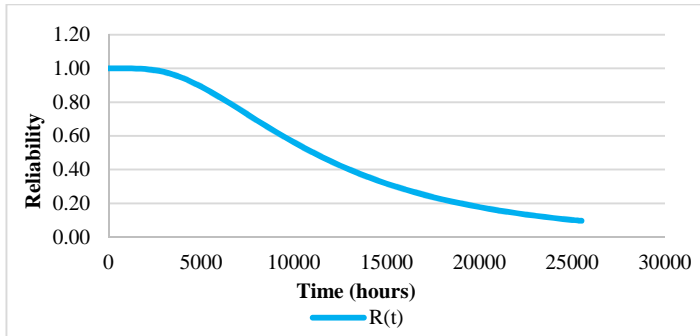
Gambar 4.10 Grafik *Reliability* dengan *Preventive Maintenance* FV-6212

Berdasarkan gambar 4.10, maka ketahui komponen LIC-6212 memerlukan *preventive maintenance* sebanyak 6 kali dalam kurun waktu kurang lebih 3 tahun. Garis biru pada gambar 4.10 menunjukkan laju *reliability* tanpa adanya *preventive maintenance*, sedangkan garis merah merupakan laju *reliability* dengan *preventive maintenance*. Setelah dilakukan *preventive maintenance*, maka nilai keandalan meningkat seperti yang ditunjukkan oleh garis putus-putus berwarna hijau.

4.4.6 Fungsi Reliability pada LT-6211

Pada komponen LT-6211 yang merupakan salah satu komponen pada *steam drum*, dimana menggunakan distribusi Lognormal sebagai fungsi keandalannya. Nilai keandalan

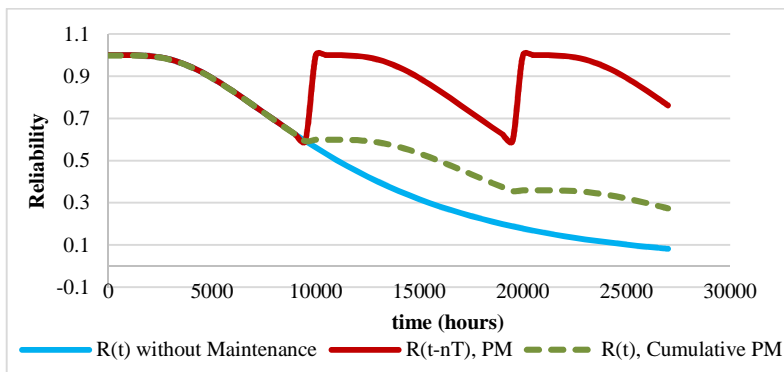
komponen diperoleh pada rentang waktu 100 jam hingga 26000 jam.



Gambar 4.11 Grafik *Reliability* LT-6211

Dengan menganalisa gambar 4.11, maka diketahui nilai keandalan komponen LT-6211 akan menurun hingga nilai keandalan 0.6 atau 60% diperoleh pada waktu 9500 jam. Komponen LT-6211 dapat bekerja dengan kinerja yang baik hingga 9500 jam.

Dalam rentang waktu perhitungan *reliability* dengan *preventive maintenance* dilakukan pada 100 jam hingga 9500 jam, hingga diperoleh grafik sebagai berikut:



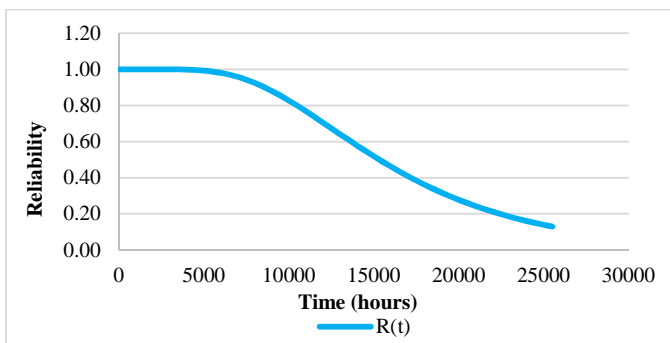
Gambar 4.12 Grafik *Reliability* dengan *Preventive Maintenance* LT-6211

Fungsi *reliability* dengan *preventive maintenance* adalah untuk mengetahui analisa rentang waktu dalam melaksanakan *maintenance*. Analisa menggunakan keandalan minimum yaitu 0.6 atau 60% sebagai batas kinerja komponen dapat bekerja secara baik.

Berdasarkan gambar 4.12, maka ketahui komponen LT-6211 memerlukan *preventive maintenance* sebanyak 3 kali dalam kurun waktu kurang lebih 3 tahun. Garis biru pada gambar 4.12 menunjukkan laju *reliability* tanpa adanya *preventive maintenance*, sedangkan garis merah merupakan laju *reliability* dengan *preventive maintenance*. Setelah dilakukan *preventive maintenance*, maka nilai keandalan meningkat seperti yang ditunjukkan oleh garis putus-putus berwarna hijau.

4.4.7 Fungsi Reliability pada FT-6213

Pada komponen FT-6213 yang merupakan salah satu komponen pada *superheater*, dimana menggunakan distribusi Lognormal sebagai fungsi keandalannya. Nilai keandalan komponen diperoleh pada rentang waktu 100 jam hingga 26000 jam.

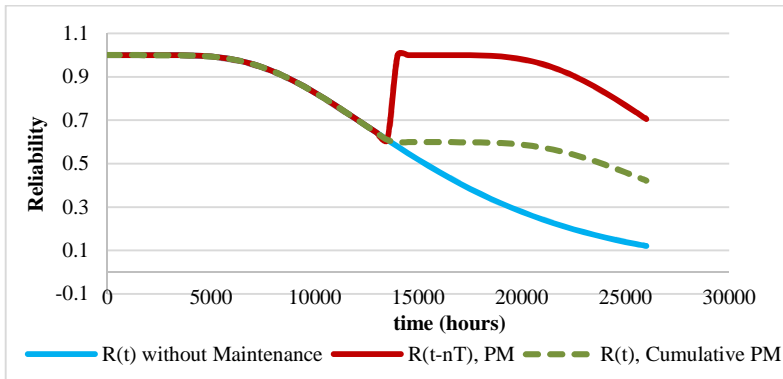


Gambar 4.13 Grafik *Reliability* FT-6213

Dengan menganalisa gambar 4.13, maka diketahui nilai keandalan komponen FT-6213 akan menurun hingga nilai keandalan 0.6 atau 60% diperoleh pada waktu 13500 jam.

Komponen FT-6213 dapat bekerja dengan kinerja yang baik hingga 13500 jam.

Fungsi *reliability* dengan *preventive maintenance* adalah untuk mengetahui analisa rentang waktu dalam melaksanakan *maintenance*. Analisa menggunakan keandalan minimum yaitu 0.6 atau 60% sebagai batas kinerja komponen dapat bekerja secara baik. Rentang waktu perhitungan *reliability* dengan *preventive maintenance* dilakukan pada 100 jam hingga 13500 jam, hingga diperoleh grafik sebagai berikut:



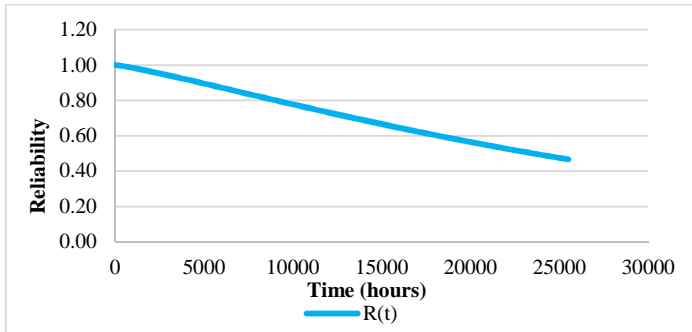
Gambar 4.14 Grafik *Reliability* dengan *Preventive Maintenance* FT-6213

Berdasarkan gambar 4.14, maka ketahui komponen FT-6213 memerlukan *preventive maintenance* sebanyak 2 kali dalam kurun waktu kurang lebih 3 tahun. Garis biru pada gambar 4.14 menunjukkan laju *reliability* tanpa adanya *preventive maintenance*, sedangkan garis merah merupakan laju *reliability* dengan *preventive maintenance*. Setelah dilakukan *preventive maintenance*, maka nilai keandalan meningkat seperti yang ditunjukkan oleh garis putus-putus berwarna hijau.

4.4.8 Fungsi Reliability pada TT-6214

Pada komponen TT-6214 yang merupakan salah satu komponen pada *superheater*, dimana menggunakan distribusi

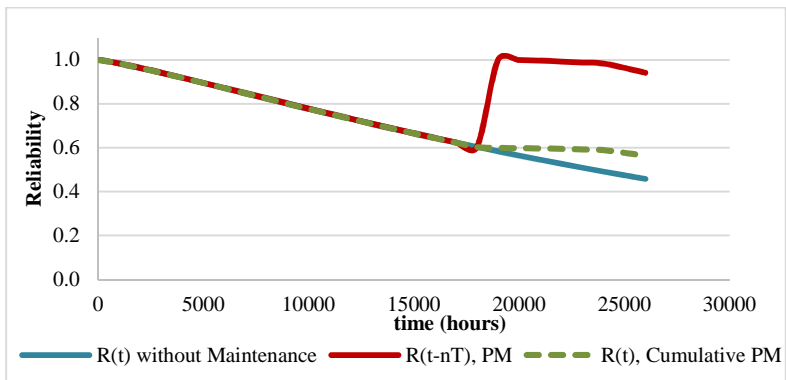
Weibull 2 sebagai fungsi keandalannya. Nilai keandalan komponen diperoleh pada rentang waktu 100 jam hingga 26000 jam.



Gambar 4.15 Grafik *Reliability* TT-6214

Dengan menganalisa gambar 4.15, maka diketahui nilai keandalan komponen TT-6214 akan menurun hingga nilai keandalan 0.6 atau 60% diperoleh pada waktu 14250 jam. Komponen TT-6214 dapat bekerja dengan kinerja yang baik hingga 14250 jam.

Dengan rentang waktu perhitungan *reliability* dengan *preventive maintenance* dilakukan pada 100 jam hingga 14250 jam, hingga diperoleh grafik sebagai berikut:



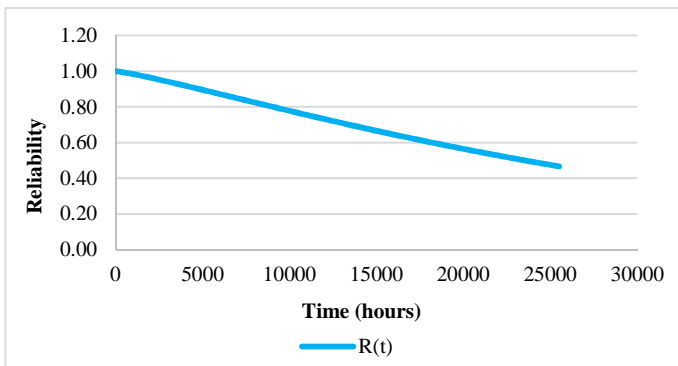
Gambar 4.16 Grafik *Reliability* dengan *Preventive Maintenance* TT-6214

Fungsi *reliability* dengan *preventive maintenance* adalah untuk mengetahui analisa rentang waktu dalam melaksanakan *maintenance*. Analisa menggunakan keandalan minimum yaitu 0.6 atau 60% sebagai batas kinerja komponen dapat bekerja secara baik.

Berdasarkan gambar 4.16, maka ketahui komponen TT-6214 memerlukan *preventive maintenance* sebanyak 2 kali dalam kurun waktu kurang lebih 3 tahun. Garis biru pada gambar 4.16 menunjukkan laju *reliability* tanpa adanya *preventive maintenance*, sedangkan garis merah merupakan laju *reliability* dengan *preventive maintenance*. Setelah dilakukan *preventive maintenance*, maka nilai keandalan meningkat seperti yang ditunjukkan oleh garis putus-putus berwarna hijau.

4.4.9 Fungsi Reliability pada TIC-6214

Pada komponen TIC-6214 yang merupakan salah satu komponen pada *superheater*, dimana menggunakan distribusi Weibull 2 sebagai fungsi keandalannya. Nilai keandalan komponen diperoleh pada rentang waktu 100 jam hingga 26000 jam.

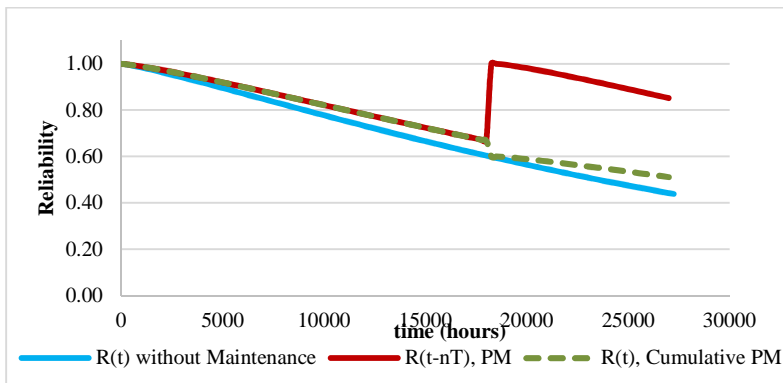


Gambar 4.17 Grafik *Reliability* TIC-6214

Dengan menganalisa gambar 4.17, maka diketahui nilai keandalan komponen TIC-6214 akan menurun hingga nilai keandalan 0.6 atau 60% diperoleh pada waktu 18000 jam.

Komponen TIC-6214 dapat bekerja dengan kinerja yang baik hingga 18000 jam.

Fungsi *reliability* dengan *preventive maintenance* adalah untuk mengetahui analisa rentang waktu dalam melaksanakan *maintenance*. Analisa menggunakan keandalan minimum yaitu 0.6 atau 60% sebagai batas kinerja komponen dapat bekerja secara baik. Rentang waktu perhitungan *reliability* dengan *preventive maintenance* dilakukan pada 100 jam hingga 18000 jam, hingga diperoleh grafik sebagai berikut:



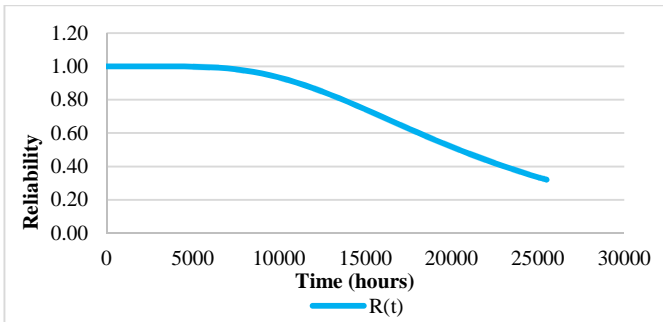
Gambar 4.18 Grafik *Reliability* dengan *Preventive Maintenance* TIC-6214

Berdasarkan gambar 4.18, maka ketahui komponen TIC-6214 memerlukan *preventive maintenance* sebanyak 1 kali dalam kurun waktu kurang lebih 2 tahun. Garis biru pada gambar 4.18 menunjukkan laju *reliability* tanpa adanya *preventive maintenance*, sedangkan garis merah merupakan laju *reliability* dengan *preventive maintenance*. Setelah dilakukan *preventive maintenance*, maka nilai keandalan meningkat seperti yang ditunjukkan oleh garis putus-putus berwarna hijau.

4.4.10 Fungsi Reliability pada FV-6214

Pada komponen FT-6214 yang merupakan salah satu komponen pada *superheater*, dimana menggunakan distribusi

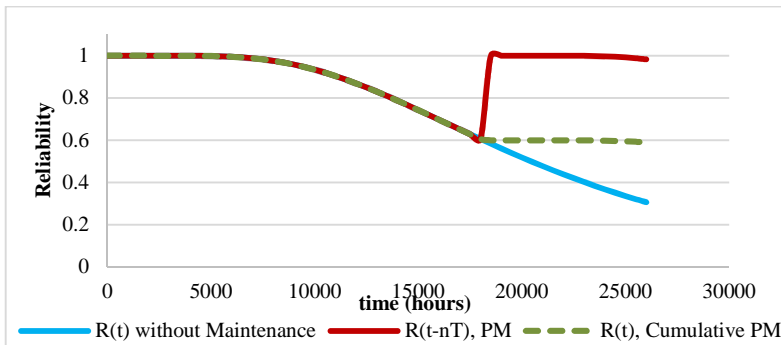
Lognormal sebagai fungsi keandalannya. Nilai keandalan komponen diperoleh pada rentang waktu 100 jam hingga 26000 jam



Gambar 4.19 Grafik *Reliability* FV-6214

Dengan menganalisa gambar 4.19, maka diketahui nilai keandalan komponen FV-6214 akan menurun hingga nilai keandalan 0.6 atau 60% diperoleh pada waktu 18000 jam. Komponen FV-6214 dapat bekerja dengan kinerja yang baik hingga 18000 jam.

Rentang waktu perhitungan *reliability* dengan *preventive maintenance* dilakukan pada 100 jam hingga 18000 jam, hingga diperoleh grafik sebagai berikut:



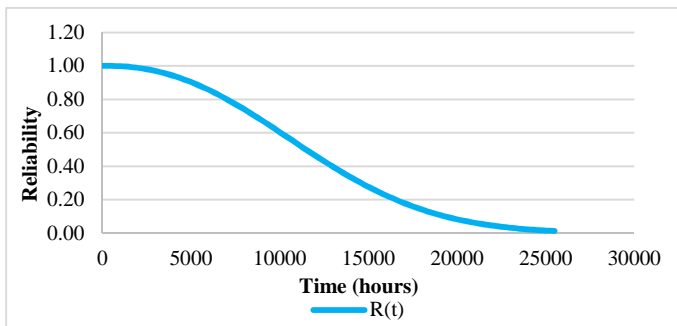
Gambar 4.20 Grafik *Reliability* dengan *Preventive Maintenance* FV-6214

Fungsi *reliability* dengan *preventive maintenance* adalah untuk mengetahui analisa rentang waktu dalam melaksanakan *maintenance*. Analisa menggunakan keandalan minimum yaitu 0.6 atau 60% sebagai batas kinerja komponen dapat bekerja secara baik.

Berdasarkan gambar 4.20, maka ketahuilah komponen Fv-6214 memerlukan *preventive maintenance* sebanyak 2 kali dalam kurun waktu kurang lebih 3 tahun. Garis biru pada gambar 4.20 menunjukkan laju *reliability* tanpa adanya *preventive maintenance*, sedangkan garis merah merupakan laju *reliability* dengan *preventive maintenance*. Setelah dilakukan *preventive maintenance*, maka nilai keandalan meningkat seperti yang ditunjukkan oleh garis putus-putus berwarna hijau.

4.4.11 Fungsi Reliability pada FT-6217

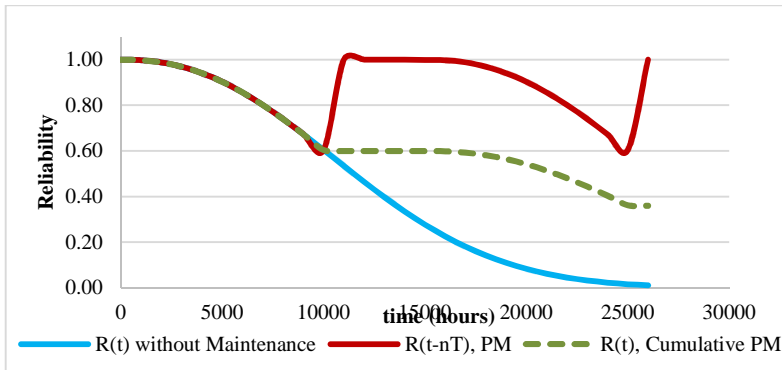
Pada komponen FT-6217 yang merupakan salah satu komponen pada *burner*, dimana menggunakan distribusi Weibull 2 sebagai fungsi keandalannya. Nilai keandalan komponen diperoleh pada rentang waktu 100 jam hingga 26000 jam.



Gambar 4.21 Grafik *Reliability* FT-6217

Dengan menganalisa gambar 4.21, maka diketahui nilai keandalan komponen FT-6217 akan menurun hingga nilai keandalan 0.6 atau 60% diperoleh pada waktu 10000 jam. Komponen FT-6217 dapat bekerja dengan kinerja yang baik hingga 10000 jam.

Rentang waktu perhitungan *reliability* dengan *preventive maintenance* dilakukan pada 100 jam hingga 10000 jam, hingga diperoleh grafik sebagai berikut:



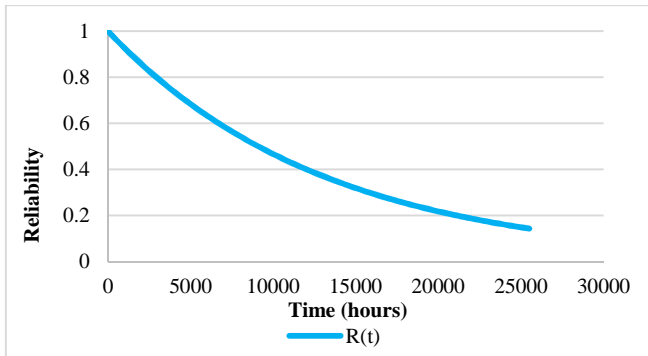
Gambar 4.22 Grafik *Reliability* dengan *Preventive Maintenance* FT-6217

Fungsi *reliability* dengan *preventive maintenance* adalah untuk mengetahui analisa rentang waktu dalam melaksanakan *maintenance*. Analisa menggunakan keandalan minimum yaitu 0.6 atau 60% sebagai batas kinerja komponen dapat bekerja secara baik.

Berdasarkan gambar 4.22, maka ketahui komponen FT-6217 memerlukan *preventive maintenance* sebanyak 3 kali dalam kurun waktu kurang lebih 3 tahun. Garis biru pada gambar 4.22 menunjukkan laju *reliability* tanpa adanya *preventive maintenance*, sedangkan garis merah merupakan laju *reliability* dengan *preventive maintenance*. Setelah dilakukan *preventive maintenance*, maka nilai keandalan meningkat seperti yang ditunjukkan oleh garis putus-putus berwarna hijau.

4.4.12 Fungsi Reliability pada PT-6217

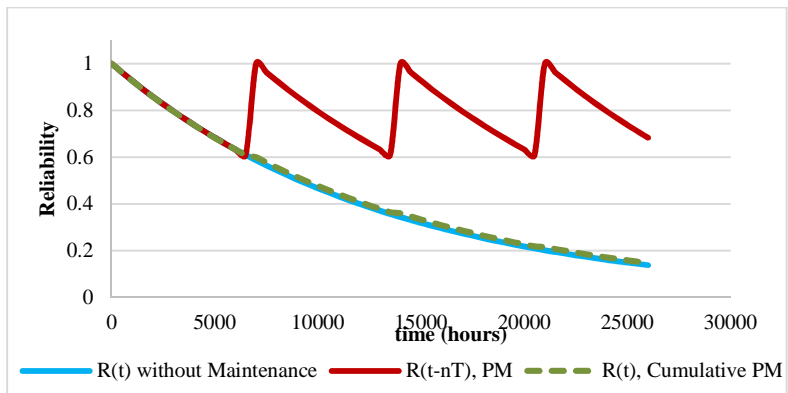
Pada komponen PT-6217 yang merupakan salah satu komponen pada *burner*, dimana menggunakan distribusi Weibull 2 sebagai fungsi keandalannya. Nilai keandalan komponen diperoleh pada rentang waktu 100 jam hingga 26000 jam.



Gambar 4.23 Grafik *Reliability* PT-6217

Dengan menganalisa gambar 4.23, maka diketahui nilai keandalan komponen PT-6217 akan menurun hingga nilai keandalan 0.6 atau 60% diperoleh pada waktu 6500 jam. Komponen PT-6217 dapat bekerja dengan kinerja yang baik hingga 6500 jam.

Dengan rentang waktu perhitungan *reliability* dengan *preventive maintenance* dilakukan pada 100 jam hingga 6500 jam, hingga diperoleh grafik sebagai berikut:



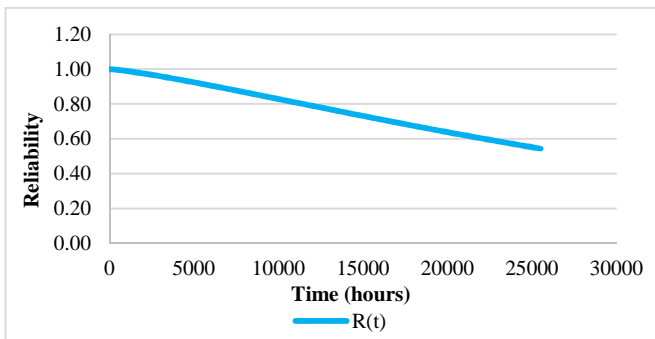
Gambar 4.24 Grafik *Reliability* dengan *Preventive Maintenance* PT-6217

Fungsi *reliability* dengan *preventive maintenance* adalah untuk mengetahui analisa rentang waktu dalam melaksanakan *maintenance*. Analisa menggunakan keandalan minimum yaitu 0.6 atau 60% sebagai batas kinerja komponen dapat bekerja secara baik.

Berdasarkan gambar 4.24, maka ketahui komponen PT-6217 memerlukan *preventive maintenance* sebanyak 4 kali dalam kurun waktu kurang lebih 3 tahun. Garis biru pada gambar 4.24 menunjukkan laju *reliability* tanpa adanya *preventive maintenance*, sedangkan garis merah merupakan laju *reliability* dengan *preventive maintenance*. Setelah dilakukan *preventive maintenance*, maka nilai keandalan meningkat seperti yang ditunjukkan oleh garis putus-putus berwarna hijau.

4.4.13 Fungsi Reliability pada TT-6217

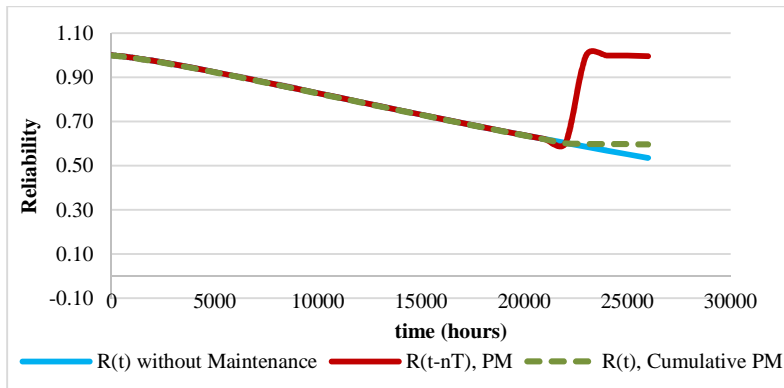
Pada komponen TT-6217 yang merupakan salah satu komponen pada *burner*, dimana menggunakan distribusi Weibull 2 sebagai fungsi keandalannya. Nilai keandalan komponen diperoleh pada rentang waktu 100 jam hingga 26000 jam.



Gambar 4.25 Grafik *Reliability* TT-6217

Dengan menganalisa gambar 4.25, maka diketahui nilai keandalan komponen TT-6217 akan menurun hingga nilai keandalan 0.6 atau 60% diperoleh pada waktu 22000 jam. Komponen TT-6217 dapat bekerja dengan kinerja yang baik hingga 22000 jam.

Rentang waktu perhitungan *reliability* dengan *preventive maintenance* dilakukan pada 100 jam hingga 22000 jam, hingga diperoleh grafik sebagai berikut:



Gambar 4.26 Grafik *Reliability* dengan *Preventive Maintenance* TT-6217

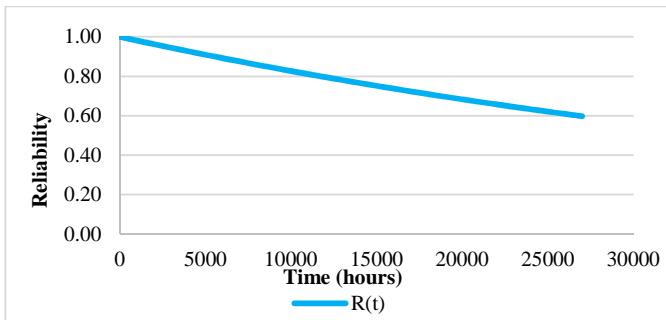
Fungsi *reliability* dengan *preventive maintenance* adalah untuk mengetahui analisa rentang waktu dalam melaksanakan *maintenance*. Analisa menggunakan keandalan minimum yaitu 0.6 atau 60% sebagai batas kinerja komponen dapat bekerja secara baik.

Berdasarkan gambar 4.26, maka ketahui komponen TT-6217 memerlukan *preventive maintenance* sebanyak 1 kali dalam kurun waktu kurang lebih 3 tahun. Garis biru pada gambar 4.26 menunjukkan laju *reliability* tanpa adanya *preventive maintenance*, sedangkan garis merah merupakan laju *reliability* dengan *preventive maintenance*. Setelah dilakukan *preventive maintenance*, maka nilai keandalan meningkat seperti yang ditunjukkan oleh garis putus-putus berwarna hijau.

4.4.14 Fungsi Reliability pada PIC-6217

Pada komponen PIC-6217 yang merupakan salah satu komponen pada *burner*, dimana menggunakan distribusi Eksponential 1 sebagai fungsi keandalannya. Nilai keandalan

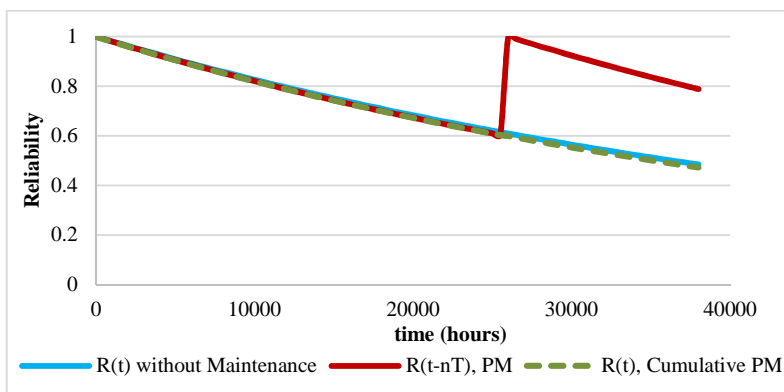
komponen diperoleh pada rentang waktu 100 jam hingga 26000 jam.



Gambar 4.27 Grafik *Reliability* PIC-6217

Dengan menganalisa gambar 4.27, maka diketahui nilai keandalan komponen PIC-6217 akan menurun hingga nilai keandalan 0.6 atau 60% diperoleh pada waktu 26000 jam. Komponen PIC-6217 dapat bekerja dengan kinerja yang baik hingga 26000 jam.

Dengan rentang waktu perhitungan *reliability* dengan *preventive maintenance* dilakukan pada 100 jam hingga 26000 jam, hingga diperoleh grafik sebagai berikut:



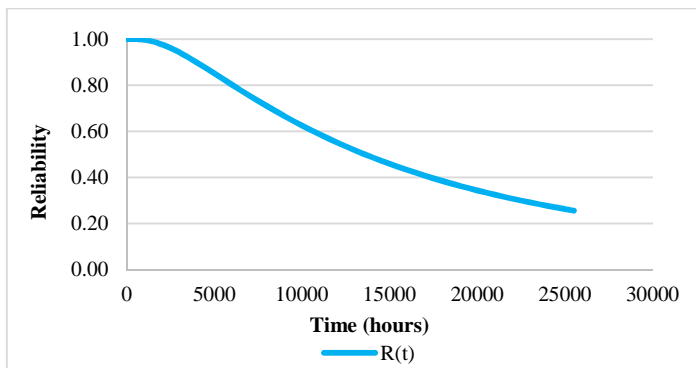
Gambar 4.28 Grafik *Reliability* dengan *Preventive Maintenance* PIC-6217

Fungsi *reliability* dengan *preventive maintenance* adalah untuk mengetahui analisa rentang waktu dalam melaksanakan *maintenance*. Analisa menggunakan keandalan minimum yaitu 0.6 atau 60% sebagai batas kinerja komponen dapat bekerja secara baik.

Berdasarkan gambar 4.28, maka ketahui komponen PIC-6217 memerlukan *preventive maintenance* sebanyak 1 kali dalam kurun waktu kurang lebih 3 tahun. Garis biru pada gambar 4.28 menunjukkan laju *reliability* tanpa adanya *preventive maintenance*, sedangkan garis merah merupakan laju *reliability* dengan *preventive maintenance*. Setelah dilakukan *preventive maintenance*, maka nilai keandalan meningkat seperti yang ditunjukkan oleh garis putus-putus berwarna hijau.

4.4.15 Fungsi Reliability pada FV-6217

Pada komponen FV-6217 yang merupakan salah satu komponen pada *burner*, dimana menggunakan distribusi Lognormal sebagai fungsi keandalannya. Nilai keandalan komponen diperoleh pada rentang waktu 100 jam hingga 10500 jam.



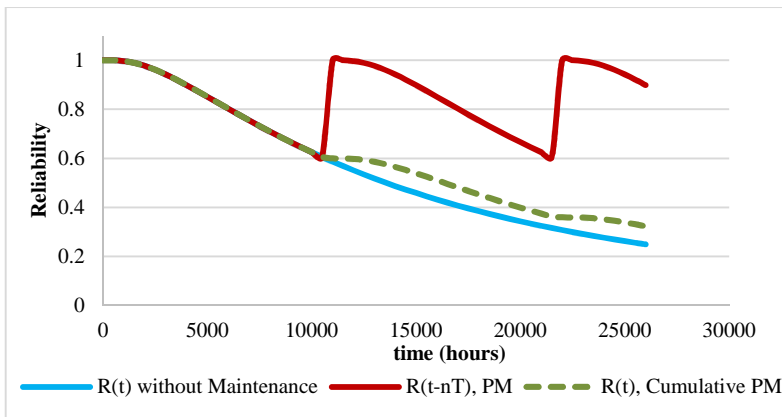
Gambar 4.29 Grafik *Reliability* FV-6217

Dengan menganalisa gambar 4.27, maka diketahui nilai keandalan komponen FV-6217 akan menurun hingga nilai

keandalan 0.6 atau 60% diperoleh pada waktu 10500 jam. Komponen FV-6217 dapat bekerja dengan kinerja yang baik hingga 10500 jam.

Fungsi *reliability* dengan *preventive maintenance* adalah untuk mengetahui analisa rentang waktu dalam melaksanakan *maintenance*. Analisa menggunakan keandalan minimum yaitu 0.6 atau 60% sebagai batas kinerja komponen dapat bekerja secara baik.

Dengan rentang waktu perhitungan *reliability* dengan *preventive maintenance* dilakukan pada 100 jam hingga 10500 jam, hingga diperoleh grafik sebagai berikut:



Gambar 4.30 Grafik *Reliability* dengan *Preventive Maintenance* FV-6217

Berdasarkan gambar 4.30, maka ketahui komponen FV-6217 memerlukan *preventive maintenance* sebanyak 2 kali dalam kurun waktu kurang lebih 3 tahun. Garis biru pada gambar 4.30 menunjukkan laju *reliability* tanpa adanya *preventive maintenance*, sedangkan garis merah merupakan laju *reliability* dengan *preventive maintenance*. Setelah dilakukan *preventive maintenance*, maka nilai keandalan meningkat seperti yang ditunjukkan oleh garis putus-putus berwarna hijau.

4.4.16 Evaluasi Keandalan pada Unit *Boiler* (B-6203)

Setelah menganalisa serta mendapatkan nilai keandalan untuk masing-masing komponen, maka dapat dihitung nilai keandalan unit *Boiler* (B-6203) dengan persamaan konfigurasi sistem seri.

$$R_1 = R \text{ (FT-6212)}$$

$$R_2 = R \text{ (FIC-6212)}$$

$$R_3 = R \text{ (LT-6212)}$$

$$R_4 = R \text{ (LIC-6212)}$$

$$R_5 = R \text{ (FV-6212)}$$

$$R_6 = R \text{ (FT-6213)}$$

$$R_7 = R \text{ (LT-6211)}$$

$$R_8 = R \text{ (TT-6214)}$$

$$R_9 = R \text{ (TIC-6214)}$$

$$R_{10} = R \text{ (FV-6214)}$$

$$R_{11} = R \text{ (FT-6217)}$$

$$R_{12} = R \text{ (PT-6217)}$$

$$R_{13} = R \text{ (TT-6217)}$$

$$R_{14} = R \text{ (PIC-6217)}$$

$$R_{15} = R \text{ (FV-6217)}$$

Sementara nilai keandalan komponen-komponen tersebut pada waktu operasional selama 2000 jam yaitu:

$$R_1 = 0.9732226$$

$$R_2 = 0.9330924$$

$$R_3 = 0.9683594$$

$$R_4 = 0.9994324$$

$$R_5 = 0.8728085$$

$$R_6 = 0.9999993$$

$$R_7 = 0.9994575$$

$$R_8 = 0.9633715$$

$$R_9 = 0.9633715$$

$$R_{10} = 1$$

$$R_{11} = 0.9994926$$

$$R_{12} = 0.8585486$$

$$R_{13} = 0.9753393$$

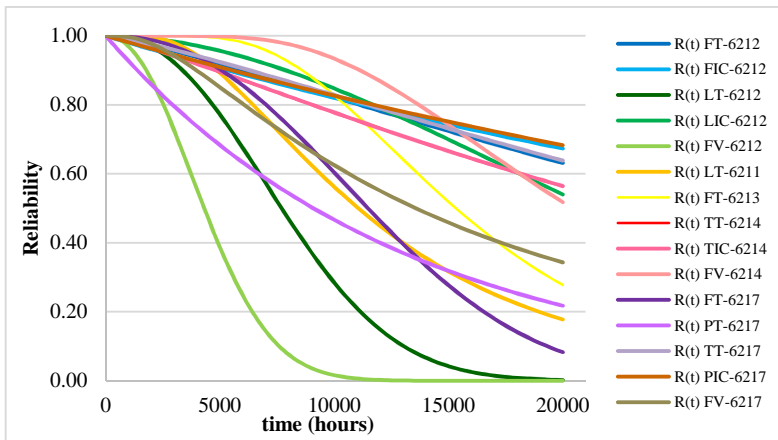
$$R_{14} = 0.9625993$$

$$R_{15} = 0.9210381$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 R_s &= P(E1 \cap E2 \cap E3 \cap E4 \cap E5 \cap E6 \cap E7 \cap E8 \cap E9 \cap E10 \cap E11 \cap E12 \\
 &\quad \cap E13 \cap E14 \cap E15) \\
 &= P(E1) P(E2) P(E3) P(E4) P(E5) P(E6) P(E7) P(E8) P(E9) \\
 &\quad P(E10) P(E11) P(E12) P(E13) P(E14) P(E15) \\
 &= (R1) (R2) (R3) (R4) (R5) (R6) (R7) (R8) (R9) (R10) (R11) \\
 &\quad (R12) (R13) (R14) (R15) \\
 &= 0.9732226 \times 0.9330924 \times 0.9683594 \times 0.9994324 \times \\
 &\quad 0.8728085 \times 0.9999993 \times 0.9994575 \times 0.9633715 \times \\
 &\quad 0.9633715 \times 1 \times 0.9994926 \times 0.8585486 \times 0.9753393 \times \\
 &\quad 0.9625993 \times 0.9210381 \\
 &= 0.527984
 \end{aligned}$$

Pada perhitungan nilai kehandalan unit *Boiler* (B-6203), diketahui bahwa kehandalan dengan waktu operasional selama 2000 jam yaitu 0.527984. Grafik kehandalan sistem dengan waktu 100 jam hingga 2000 jam dapat ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 4.31 Grafik *Reliability* Komponen pada Unit B-6203

Berdasarkan gambar 4.31, diketahui komponen FV-6212 menunjukkan nilai kehandalan paling rendah dibandingkan dengan komponen yang lain. Sementara komponen PIC-6217 menunjukkan nilai kendalan paling tinggi, berdampingan dengan komponen FIC-6212. Untuk menghindari terjadinya kegagalan instrumen sebelum masa operasinya dan mendeteksi awal terjadinya kerusakan, maka perlu dilakukan *preventive maintenance* pada masing-masing komponen. Nilai keandalan masing-masing komponen sistem pengendalian pada unit *Boiler* (B-6203) dapat meningkat setelah dilakukan *preventive maintenance*.

Hasil rekap data untuk tindakan perawatan setiap komponen sistem pengendalian pada B-6203 ditunjukkan pada tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Waktu Interval Perawatan Berdasarkan Hasil Implementasi *Preventive Maintenance*

No.	Tag Number Komponen	Waktu Interval Perawatan
1	FT-6212	21750 jam operasi
2	FIC-6212	25500 jam operasi
3	LT-6212	6750 jam operasi
4	LIC-6212	18000 jam operasi
5	FV-6212	3750 jam operasi
6	FT-6213	13500 jam operasi
7	LT-6211	9500 jam operasi
8	TT-6214	14250 jam operasi
9	TIC-6214	18000 jam operasi
10	FV-6214	18000 jam operasi
11	FT-6217	10000jam operasi
12	PT-6217	6500 jam operasi
13	TT-6217	22000 jam operasi
14	PIC-6217	26000 jam operasi
15	FV-6217	10500 jam operasi

4.5 Analisa *Safety Integrity Level (SIL)* Kuantitatif dengan Metode *Fault Tree Analysis (FTA)*

Analisis kuantitatif menggunakan *Fault Tree Analysis (FTA)* dilakukan dengan mengidentifikasi kondisi yang berpotensi menyebabkan kerusakan pada unit *Boiler (B-6203)*.

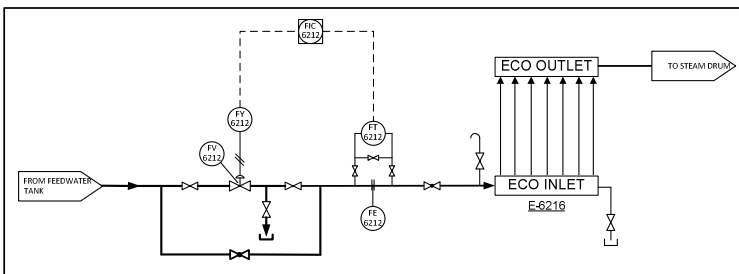
4.5.1 Analisa *Fault Tree Analysis (FTA)* pada *Economizer*

Pada B-6203, *water* dari *feedwater tank* akan dipanaskan awal oleh *economizer*. *Economizer* akan melakukan pemanasan awal (*pre-heat*) *Boiler feed water* sebelum masuk ke *steam drum*. *Water* yang dipanaskan akan berubah menjadi *wet steam*, dimana pemanasan dilakukan pada *saturated temperature*, yakni 371°C dengan tekanan 49.29 kg/cm^2 .



Gambar 4.32 Diagram Blok *Economizer*

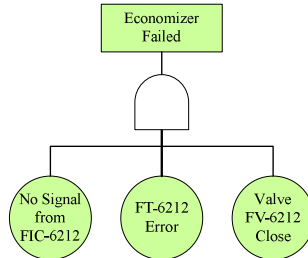
Terdapat satu loop pengendalian pada *economizer*, dimana berfungsi untuk mengendalikan aliran *water* yang masuk dari *feedwater tank*.



Gambar 4.33 P&ID *Economizer*

Flow valve (FV-6212) mengendalikan laju aliran *water* yang masuk pada *economizer*, dimana *flow transmitter (FT-6212)* akan mendeteksi besarnya laju aliran fluida yang masuk. FT-6212 akan

memberikan sinyal pada *flow controller* (FIC-6212) untuk memberikan *feedback signal* pada *valve*.

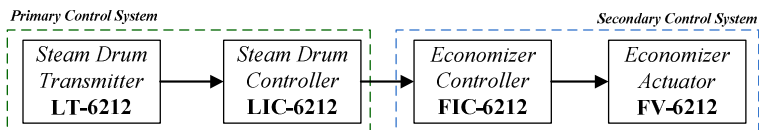


Gambar 4.34 Diagram FTA untuk *Loop* Pengendalian *Economizer*

Jika terjadi kegagalan pada salah satu komponen pada *loop* pengendalian economizer, maka komponen *Basic Process Control System* (BPCS) pada economizer berindikasi gagal.

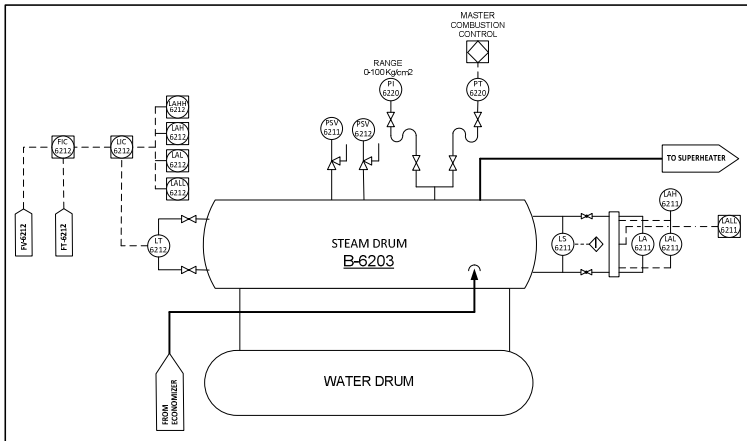
4.5.2 Analisa *Fault Tree Analysis* (FTA) pada *Steam Drum*

Wet steam dari *economizer* akan masuk pada *steam drum*. Didalam *steam drum*, temperatur dijaga agar stabil pada 405°C dengan tekanan 36.5 kg/cm².



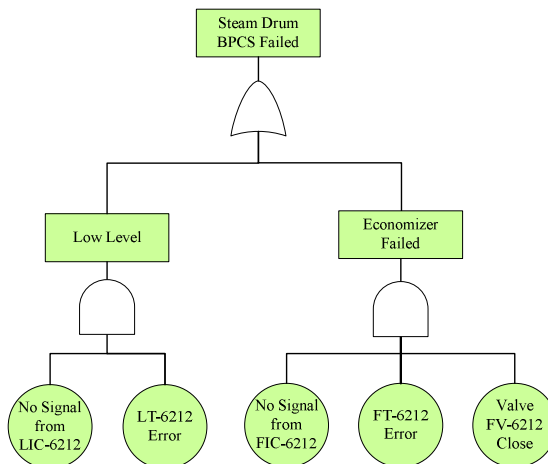
Gambar 4.35 Diagram Blok *Cascade Control System* *Steam Drum*

Terdapat satu *loop* pengendalian pada *steam drum* dengan sistem pengendalian *cascade*.

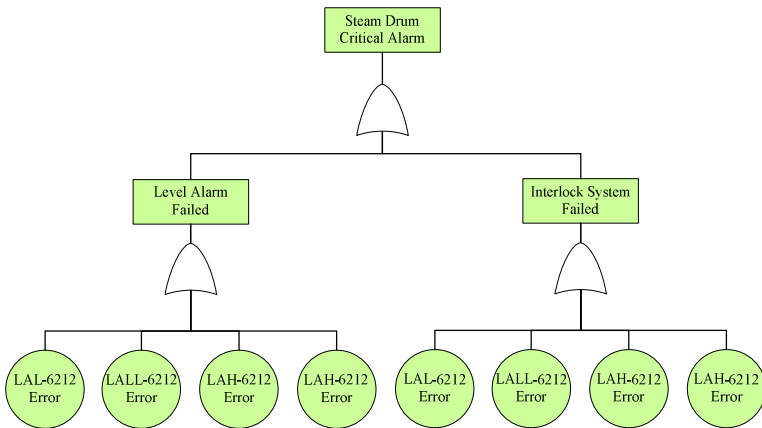


Gambar 4.36 P&ID *Steam Drum*

Pada *loop* pengendalian dengan sistem *cascade*, *level* dari *steam drum* akan diukur oleh *level transmitter* (LT-6212) kemudian mengirimkan sinyal pada *level controller* (LIC-6212). *Feedback signal* dari LIC-6212 akan di kirimkan pada FIC-6212 selaku *master controller* pada *loop* pengendalian *economizer*.

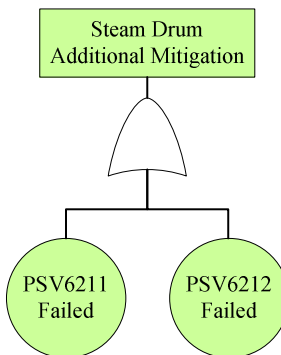


Gambar 4.37 Diagram FTA untuk *Loop* Pengendalian *Steam Drum*



Gambar 4.38 Diagram FTA untuk *Critical Alarm Steam Drum*

Sementara untuk desain FTA *steam drum*, node tersebut memiliki dua buah kombinasi desain *critical alarm*. Salah satu kombinasi tersebut merupakan *interlock system*, dimana akan aktif apabila *Level Alarm Low Low* (LALL) terdeteksi.



Gambar 4.39 Diagram FTA untuk *Additional Mitigation Steam Drum*

4.5.3 Analisa Fault Tree Analysis (FTA) pada *Superheater*

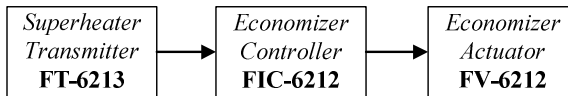
Superheater akan memanaskan *steam* yang masih memiliki kandung air (*wet steam*) dengan temperatur 435°C dan tekanan 35

kg/cm². *Wet steam* akan menjadi *saturated steam* yang akan digunakan untuk menggerakkan *steam turbine*.



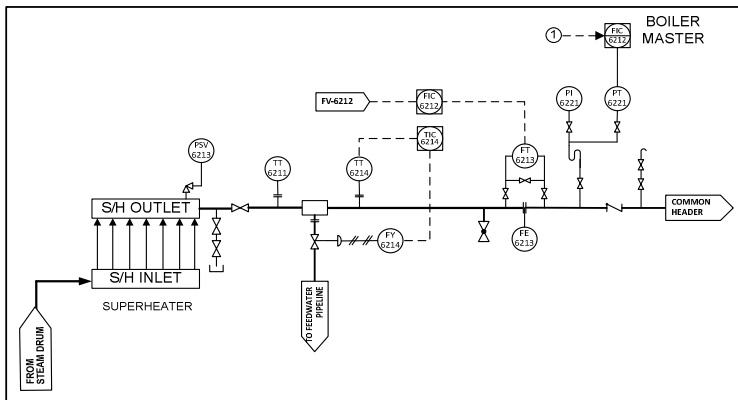
Gambar 4.40 Diagram Blok *Temperature Control Superheater*

Steam keluaran dari *steam drum* akan dikendalikan temperatur keluarannya. Jika terjadi temperatur tinggi (*high temperature*), maka TIC-6214 akan memberikan *feedback* untuk membuka *valve* FV-6214, dimana *valve* tersebut berada pada *secondary line* yang membuang aliran *steam* menuju ke pipa masukan *economizer*.



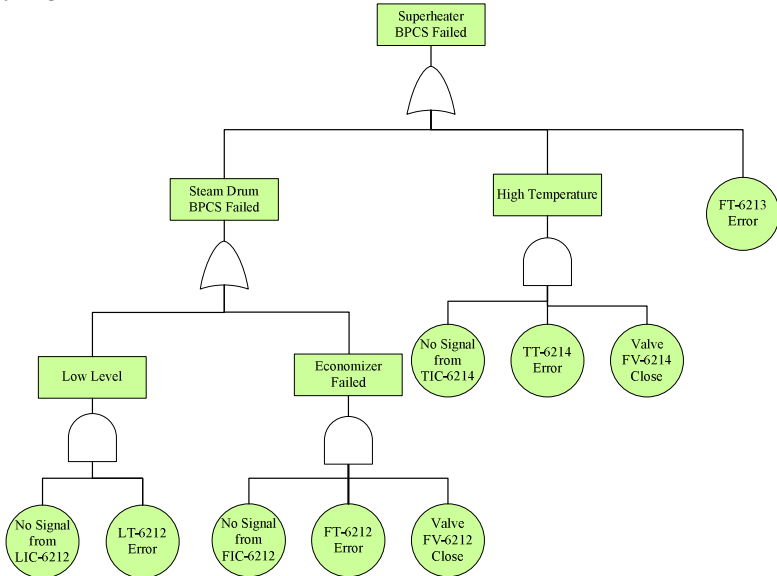
Gambar 4.41 Diagram Blok *Flow Control Superheater*

Flow Transmitter (FT-6213) akan memberikan sinyal pada FIC-6212, dimana *final element* yang dikendalikan yaitu bukaan *valve* FV-6212 yang berada pada pipa masukan menuju *economizer*.



Gambar 4.42 P&ID *Superheater*

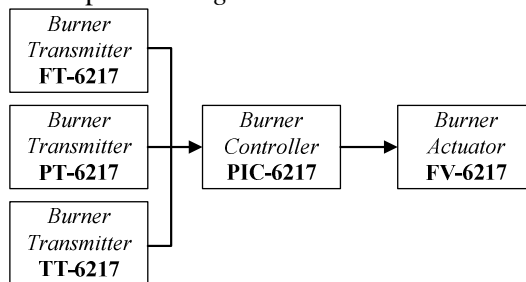
Jika kondisi temperatur sesuai dengan *setpoint* yang dikendaki maka hanya pengendalian laju aliran *saturated steam* yang dikendalikan.



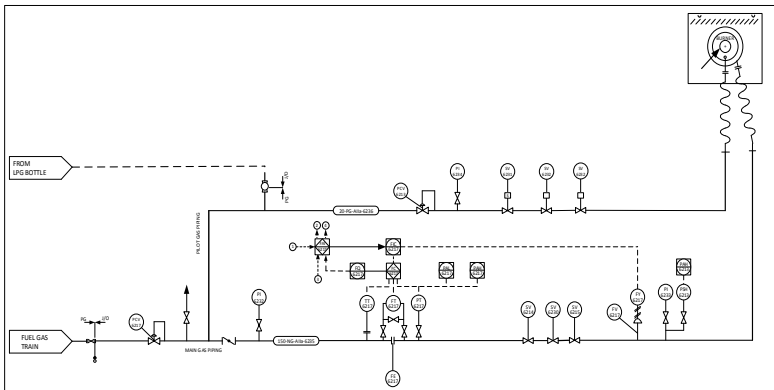
Gambar 4.43 Diagram FTA untuk *Loop* Pengendalian *Superheater*

4.5.4 Analisa *Fault Tree Analysis* (FTA) pada *Burner*

Burner memberikan pemanasan dengan temperatur yang tinggi pada *furnace* (tungku pembakaran) dengan menggunakan bahan bakar berupa *natural gas*.

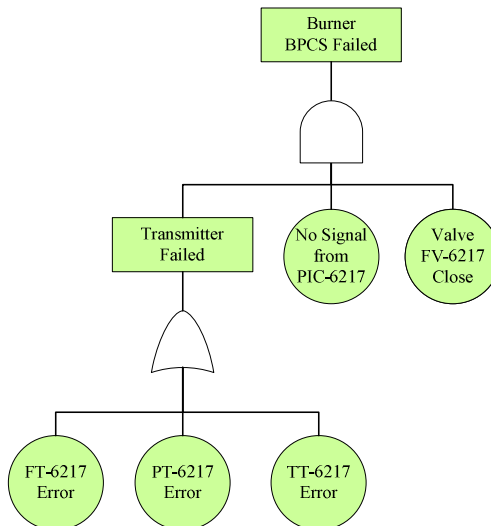


Gambar 4.44 Diagram Blok *Burner*



Gambar 4.45 P&ID Burner

Terdapat satu *loop* pengendalian pada *burner*. Sementara untuk kombinasi *critical alarm*, *burner* memiliki dua buah kombinasi.

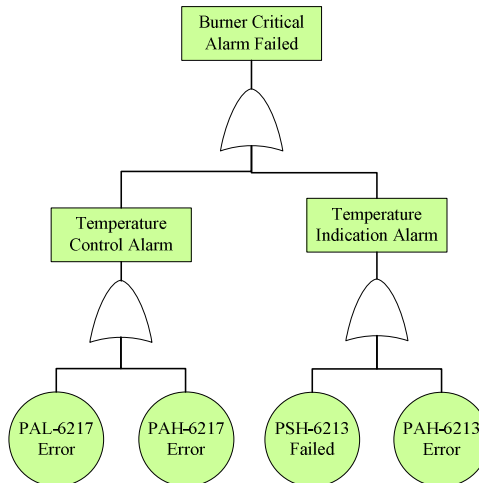


Gambar 4.46Diagram FTA untuk *Loop* Pengendalian *Burner*

Burner akan mengalami kegagalan apabila semua komponen pada unit tersebut mengalami kegagalan. Terdapat tiga buah

transmitter (FT-6217, PT-6217 dan TT-6217) yang mengirimkan sinyal kepada *controller*, yaitu PIC-6217 dengan aktuator yaitu FV-6217.

Terdapat dua buah kombinasi *critical alarm* pada unit ini dengan pemasangan diawal jalur masuk pipa gas dan *inlet pipeline* menuju *burner*.



Gambar 4.47 Diagram FTA untuk Kombinasi *Critical Alarm Burner*

4.5.5 Analisa *Fault Tree Analysis* (FTA) pada Unit B-6203

Analisis kuantitatif *Fault Tree Analysis* (FTA) dilakukan berdasarkan nilai *Probability Failure on Demand* pada setiap komponen. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui potensi terjadinya kerusakan pada unit *Boiler B-6203* berdasarkan laju kegagalan komponen-komponen. Kumpulan *basic event* pada desain FTA menyebabkan kegagalan yang terjadi pada unit B-6203. Kumpulan *basic event* kali ini dibagi atas komponen yang berada pada *Independent Protection Layer* (IPL), yaitu *general process design*, *Basic Process Control System* (BPCS), *critical alarm* dan *additional mitigations*. Nilai laju kegagalan pada beberapa *basic event* tersebut digunakan untuk mengetahui

probability *Probability Failure on Demand* pada unit *Boiler B-6203*.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan PFD berdasarkan Desain FTA pada Komponen BPCS

Komponen	Tag Number	Failure Rate (λ)	PFD	PFDavg	RRF	SIL
Economizer	FT-6212	4.97E-05	0.0816	1.98E-02	50	1
	FIC-6212	3.86E-05	0.0634			
	FV-6212	2.33E-04	0.3834			
Steam Drum	LT-6212	1.40E-04	0.2307	1.00E-02	100	1
	LIC-6212	6.89E-05	0.1132			
	FV-6212	2.33E-04	0.3834			
Superheater	FT-6213	8.32E-05	0.1367	1.38E-02	73	1
	TT-6214	5.86E-05	0.0963			
	TIC-6214	6.51E-05	0.1069			
	FV-6214	6.11E-05	0.1003			
Burner	TT-6217	4.93E-05	0.8096	3.14E-03	319	2
	FT-6217	1.29E-04	0.2123			
	PT-6217	1.22E-04	0.2012			
	PIC-6217	4.28E-05	0.0703			
	FV-6217	7.86E-05	0.1291			

Pada tabel 4.6 dapat diketahui bahwa nilai *Safety Integrity Level* (SIL) pada *Basic Process Control System* (BPCS) unit *Boiler B-6203* paling tinggi berada pada komponen *burner* dengan nilai *Probability Failure on Demand* (PFD) yaitu 0.00314. Pada burner dalam kurun waktu kurang lebih 100 tahun terjadi setidaknya 1 kali kegagalan. Komponen *economizer*, *steam drum* dan *superheater* memiliki nilai SIL yaitu 1, karena nilai PFD masing-masing sistem pengendalian terletak antara 0.1-0.01. Dapat diartikan bahwa dalam kurun waktu kurang lebih 10 tahun terjadi setidaknya 1 kali kegagalan. Nilai *Risk Reduction Factor* (RRF) menunjukkan tingkat penurunan risiko suatu komponen. Pada tabel 4.6 tampak bahwa semakin kecil nilai PFD maka akan semakin besar tingkat penurunan risiko pada suatu komponen.

Dengan data hasil SIL pada masing-masing komponen Sistem B-6203 dapat diartikan bahwa tingkat keselamatan pada sistem tersebut tergolong rendah.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan PFD berdasarkan Desain FTA pada Kombinasi *Critical Alarm*

Komponen	Tag Number	Failure Rate (λ)	PFD	PFDavg	RRF	SIL
Steam Drum	LAH-6212	3.59E-05	0.0589	5.12E-04	1954	2
	LAHH-6212	5.80E-05	0.0953			
	LAL-6212	5.45E-05	0.0895			
	LALL-6212	5.52E-05	0.0906			
	LAH-6211	1.00E-04	0.1643			
	LAHH-6211	3.54E-05	0.0582			
	LAL-6211	4.66E-05	0.0764			
	LALL-6211	4.66E-05	0.0764			
Burner	PAL-6217	5.57E-05	0.0915	2.64E-02	37.9	1
	PAH-6217	5.57E-05	0.0915			
	PSH-6213	8.28E-05	0.1361			
	PAH-6213	8.06E-05	0.1324			

Pada tabel 4.7 dapat diketahui bahwa nilai kombinasi *critical alarm* unit *Boiler* B-6203 hanya terdapat pada komponen *steam drum* dan *burner*.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan PFD berdasarkan Desain FTA pada Kombinasi *Additional Mitigation*

Komponen	Tag Number	Failure Rate (λ)	PFD	PFDavg	RRF	SIL
Steam Drum	PSV-6211	3.28E-04	0.0538	0.0229	43	1
	PSV-6212	2.60E-04	0.0426			
Superheater	PSV-6213	4.97E-04	0.0816	0.0816	12	1

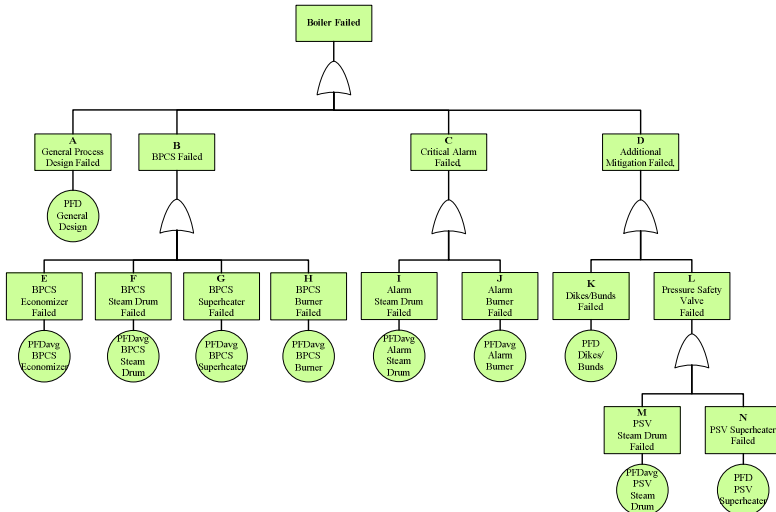
Komponen *additional mitigation* pada unit *Boiler* (B-6203) berupa *Pressure Safety Valve* (PSV). Komponen tersebut akan bekerja apabila terjadi tekanan tinggi pada *steam drum* maupun *superheater*.

Tabel 4.9 Nilai PFDs untuk IPLs pada proses secara umum
(Lassen, 2008 *mengacu pada* CCPS, 2001)

No	IPL	PFD
1	Sistem pengendalian proses dasar, jika tidak terkait dengan penyebab awal yang dipertimbangkan	1.10^{-1}
2	Alarm operator dengan waktu yang cukup untuk merespon	1.10^{-1}
3	<i>Relief valve</i>	1.10^{-2}
4	<i>Rupture disk</i>	1.10^{-2}
6	Tanggul (bund/dike)	1.10^{-2}
7	Sistem drainase bawah tanah	1.10^{-2}
8	Saluran udara terbuka (<i>open vent</i>)	1.10^{-2}
9	Anti api (<i>fireproofing</i>)	1.10^{-2}
10	Dinding penahan ledakan/lubang perlindungan (<i>Blast-wall/bunker</i>)	1.10^{-3}
11	Alat cadangan yang identik (<i>redundant</i>)	1.10^{-1} (<i>maximum credit</i>)
12	Alat cadangan yang berbeda	$1.10^{-1} - 1.10^{-2}$
13	Kejadian lain	Berdasarkan pengalaman personil
14	Trip pengaman mekanikal internal yang independen terhadap SIS	$1.10^{-1} - 1.10^{-2}$
15	Katup satu arah (NRV) atau <i>check valve</i>	1.10^{-1}
16	“Inherently Safe” Design	1.10^{-2}

Pada *general proses design*, diidentifikasi melalui desain awal *plant* yang dapat diketahui berdasarkan P&ID diagram. Adapun nilai *Probability Failure on Demand* (PFD) *general process design* dapat diketahui pada tabel 4.9. Selain *general process design*, terdapat pula *additional mitigation* berupa tanggul

(bund/dike). Komponen tersebut merupakan pengamanan tambahan pada unit Boiler (B-6203).



Gambar 4.48 Diagram FTA pada Kondisi *Boiler Failed*

Pada kondisi kegagalan pada *Boiler* dipengerui oleh beberapa komponen komponen yang berada pada *Independent Protection Layer* (IPL), yaitu *general process design*, *Basic Process Control System* (BPCS), *critical alarm* dan *additional mitigations*. Dengan desain FTA pada gambar 4.44, maka diperoleh perhitungan *Safety Integrity Level* (SIL) dilakukan berdasarkan Aljabar Boolean seperti dibawah ini:

Untuk top event (T) pada unit *Boiler*.

$$T(P) = A \cup B \cup C \cup D$$

$$= A \cup \{E \cup F \cup G \cup H\} \cup \{I \cup J\} \cup \{K \cup L\}$$

$$= A \cup \{E \cup F \cup G \cup H\} \cup \{I \cup J\} \cup \{K \cup (M \cup N)\}$$

$$= 0.1 \cup \{0.0198 \cup 0.1 \cup 0.0138 \cup 0.00314\} \cup \{0.0005 \cup 0.0264\} \cup \{0.01 \cup (0.0229 \cup 0.0816)\}$$

$$= 0.48814$$

Berdasarkan perhitungan Aljabar Boolean didapatkan nilai PFD sebesar 0.48814.

Dengan nilai *Target Mitigated Event Likelihood* (TMEL) berada pada *severity level* C_E atau dapat terjadi kematian lebih dari satu sampai tiga di lokasi kejadian. *Severity level* C_E memiliki nilai TMEL sebesar 1,0E-05. Nilai target SIL dapat dihitung sebagai berikut:

$$PFD_{avg} = \frac{TMEL}{T(P)} = \frac{5 \times 10^{-5}}{0.48814} = 1.02 \times 10^{-3}$$

Dengan nilai *Risk Reduction Factor* (RRF), sebagai berikut:

$$RRF = \frac{1}{PFD_{avg}} = \frac{1}{1.02 \times 10^{-3}} = 976$$

Berdasarkan Standard IEC 61508 dan IEC 61025 nilai PFD tersebut termasuk kategori SIL 2. Nilai SIL pada tersebut dapat diartikan bahwa tingkat keselamatan pada unit B-6203 pun tergolong rendah tersebut tergolong cukup tinggi.

4.6 Analisa *Safety Integrity Level* (SIL) Semi-Kuantitatif dengan Metode *Risk Graph*

Analisa SIL semi-kuantitatif kali ini dilakukan dengan menentukan scenario kejadian yang berpotensi menyebabkan kerusakan pada sistem B-6203. Skenario tersebut diperoleh dengan mengacu pada *Hazard and Operability* (HazOp). Dengan mengacu pada data HazOp, maka diketahui scenario yang mengakibatkan adanya kegagalan pada komponen hingga mengganggu jalannya proses pada sistem B-6203

Penentuan *Safety Integrity Level* (SIL) menggunakan metode *risk graph* dilakukan berdasarkan nilai parameter *consequence* (C), *occupancy* (F), *probability avoiding hazard* (P) dan *demand rate* (W) pada setiap skenario kejadian. Berdasarkan parameter tersebut maka didapatkan nilai SIL pada Sistem B-6203 seperti pada tabel 4.10 berikut:

Tabel 4.10 Hasil Analisa SIL pada *Risk Graph*

No.	Node		Skenario	Cause	Consequence		Occupancy (F)	Probability of Avoidance (P)	Demand Rate (W)	SIL
					Type	C				
1	1	1	Kelebihan aliran (<i>more flow</i>) pada Economizer (E-6212)	FV-6212 damage	H	Ca	Fa	Pb	Wc	1
					E	Ca				
					F	Ca				
2	1	2	Tidak ada aliran (<i>no flow</i>) pada Economizer (E-6212)	FV-6212 damage	H	Ca	Fa	Pb	Wc	1
					E	Ca				
					F	Ca				
3	2	1	Level <i>Steam Drum</i> (B-6203) rendah (<i>low level</i>)	FV-6212 damage	H	Ca	Fa	Pa	Wc	1
					E	Ca				
					F	Ca				
4	3	1	Tidak ada aliran (<i>no flow</i>) pada unit Economizer (E-6212)	FV-6212 damage	H	Ca	Fa	Pb	Wc	1
					E	Ca				
					F	Ca				
5	3	2	Temperature tinggi (<i>high temperature</i>) pada keluaran <i>Superheater</i>	FV-6214 gagal membuka	H	Ca	Fa	Pb	Wc	1
					E	Ca				
					F	Ca				

Tabel 4.10 Hasil Analisa SIL pada *Risk Graph* (Lanjutan)

No.	Node		Skenario	Cause	Consequence		Occupancy (F)	Probability of Avoidance (P)	Demand Rate (W)	SIL
					Type	C				
6	4	1	Kelebihan tekanan (<i>overpressure</i>) pada <i>Burner</i>	FV-6217 damage	H	Cb	Fa	Pb	Wc	2
					E	Ca				
					F	Ca				

Berdasarkan keempat parameter tersebut diketahui bahwa untuk skenario kejadian *no flow* atau *more flow* pada economizer mempunyai nilai SIL 1. Sama halnya pada node *steam drum* dan *superheater* juga mendapatkan nilai SIL 1. Sementara pada node burner memiliki nilai SIL 2 karena pada komponen tersebut apabila terjadi kebocoran pada aliran *natural gas*, maka dapat menimbulkan api hingga ledakan pada *plant*.

Hasil evaluasi SIL dengan metode *risk graph* tidak memiliki perbedaan signifikan dengan evaluasi dengan metode *Fault Tree Analysis*, dimana jika disimpulkan hasil SIL dengan menentukan empat buah node, yaitu *economizer*, *steam drum*, *superheater* dan *burner* maka nilai SIL untuk masing-masing node yaitu SIL 1 untuk node *economizer*, *steam drum* dan *superheater*, sementara SIL 2 diperoleh node *burner*.

Pada metode FTA lebih memprioritaskan data kegagalan komponen. Berdasarkan data tersebut maka dapat diperoleh laju kegagalan komponen (*failure rate*) hingga nilai *Probability Failure on Demand* (PFD). Desain FTA dapat dirancang berdasarkan desain P&ID dengan memisahkan antara desain *Basic Process Control Sistem* (BPCS) dan *Safety Instrumented System* (SIS). Lain halnya dengan evaluasi SIL menggunakan metode *risk graph*. Metode ini lebih menganalisa skenario tingkat resiko pada sistem B-6203 dengan mengacu pada empat parameter, yaitu *consequence*, *occupancy*, *probability of avoidance* dan *demand rate*. Nilai SIL diperoleh melalui tabel pada gambar 2.11.

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari keseluruhan hasil penelitian tugas akhir yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Laju kehandalan ($R(t)$) hingga mencapai kehandalan minimum menurut standart perusahaan yaitu 0.6. Nilai kehandalan sistem pada rentang waktu 2000 jam atau 3 bulan yaitu 0.52.
2. Pada analisa *Safety Integrity Level* (SIL) kuantitatif dengan metode *Fault Tree Analysis* (FTA), diperoleh nilai SIL sistem B-6203 yaitu SIL 2 dengan nilai PFD 0.00102.
3. Pada analisa *Safety Integrity Level* (SIL) semi-kuantitatif dengan metode *Risk Graph* diperoleh hasil SIL 1 pada *node economizer, steam drum* dan *superheater*. *Node burner* memperoleh SIL 2 karena pada komponen tersebut apabila terjadi kebocoran pada aliran *natural gas*, maka dapat menimbulkan api hingga ledakan pada *plant*.

5.2 Saran

Saran dari penulis berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut:

1. Pada pengolahan data kehandalan sistem, dapat dilakukan penentuan interval perawatan berdasarkan analisis keuangan dan dampak resiko pada profit produksi jika terjadi kegagalan.
2. Interval pengolahan data kehandalan sistem agar lebih baik dengan interval yang sempit agar akurasi nilai yang diperoleh lebih baik.
3. Pada analisa data SIL, dapat dilakukan estimasi luas dampak bahaya yang lebih spesifik agar analisa konsekuensi yang diperoleh lebih mendalam.

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

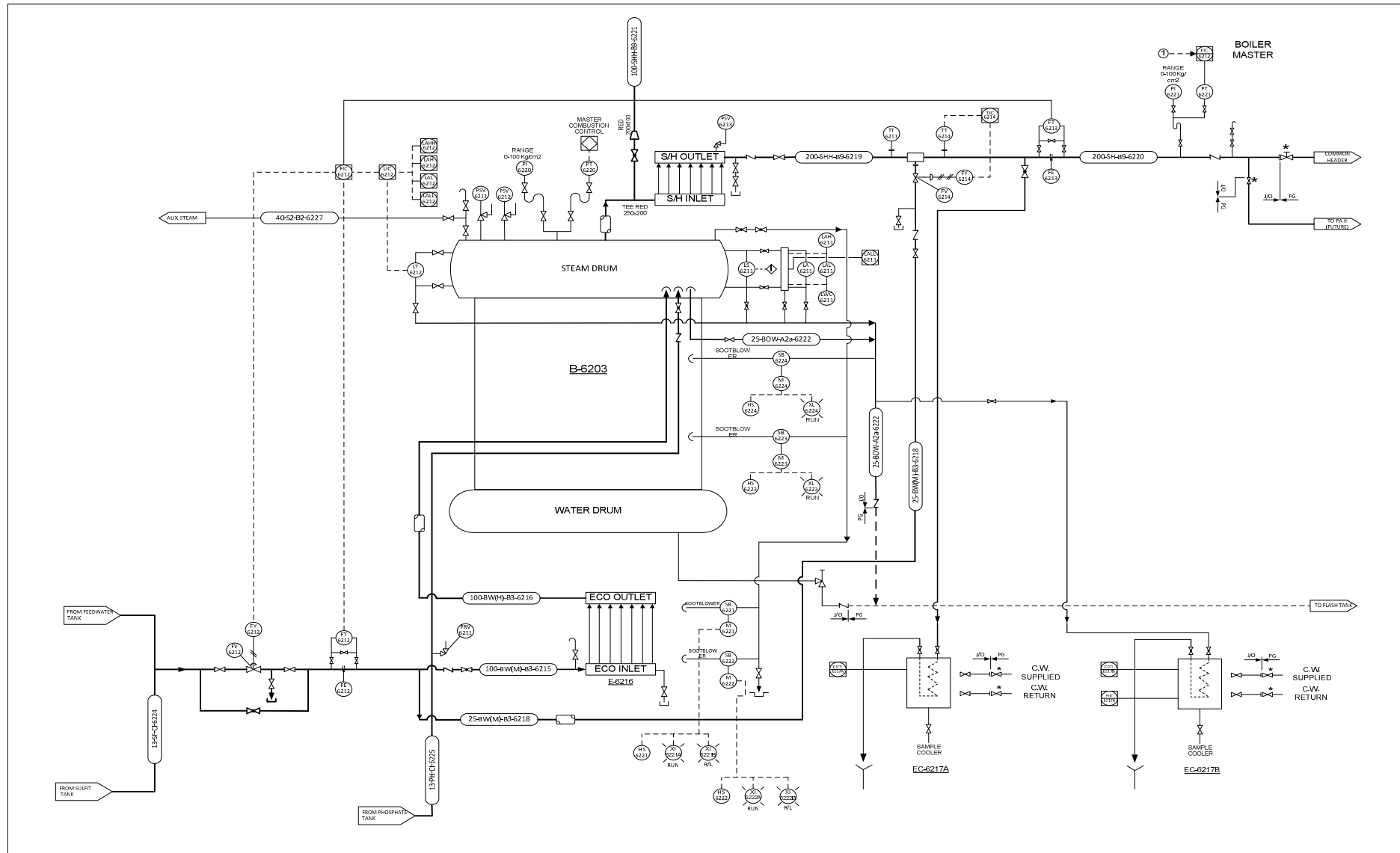
DAFTAR PUSTAKA

- [1] ANSI/ISA-84.01. 1964. “*Application of Safety Instrumented Systems for the Process Industries*”, Research Triangle Park, NC: American National Standard Institute.
- [2] Ebeling, Charles E. 1997. “*An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*”. Singapore: The Mc.Graw-Hill Companies.
- [3] ISA-TR84.00.02-2002-Part-3. 2002. “*Safety Instrumented Functions (SIF)-Safety Integrity Level (SIL) Evaluation Techniques Part 3: Determining the SIL of a SIF via Fault Tree Analysis*”. ISA-The Instrumentation System, and Automation Society.
- [4] M.Marszal, Edward dan W.Scharpf, Eric. 2002. “*Safety Integrity Level Selection*”. United State of America : Research Triangle Park, NC: ISA.
- [5] Dhillon, B.S. 2005. “*Reliability, Quality and Safety for Engineers*”. Florida, USA: CRC Press.
- [6] Center for Chemical Process Safety (CCPS). 2012. “*Guidelines for Evaluating Process Plant Buildings for External Exploisons Fires and Toxic Releases*”. America : A John Wiley & Sons, Inc.
- [7] Nur Rahmawati, Dewi; Ya’umar; Ilyas. Hs. M. 2013. “*Evaluasi Reliability dan Safety pada Sistem Pengendalian Level Syn Gas 2ND Interstage Separator Di PT. Petrokimia Gresik*”. Teknik Fisika-ITS. Surabaya.
- [8] Pradana, Septian Hari; Musyafa’, Ali; Noriyati, Ronny Dwi. 2014. “*Analisis Hazard and Operability (HazOp) untuk Deteksi Bahaya dan Manajemen Risiko pada Unit Boiler (B-6203) di Pabrik III PT.Petrokimia Gresik*”. Teknik Fisika-ITS. Surabaya.
- [9] Kusumawardhani, Shinta. 2015. “*Evaluasi Reliability Pada Sistem Air Compressor 101J Di Pabrik Ammonia PT. Petrokimia Gresik*”. Teknik Fisika-ITS. Surabaya.
- [10] Sholihah, Umi Azizatus; Noriyati, Ronny Dwi. 2015. “*Analisis Safety Integrity Level (SIL) dengan Metode Risk*

Graph dan Fault Tree Analysis (FTA) pada Unit CO₂Absorber 101-E di Ammonia Plant PT.Petrokimia".
Teknik Fisika-ITS. Surabaya.

Pada lampiran ini terlampir P&ID unit *Boiler* (B-6203) Pabrik III PT. Petrokimia Gresik, sebagai berikut:

1. P&ID *Boiler*



[illegible]

LAMPIRAN B

Pada lampiran ini tercantum hasil pengolahan data *Time To Repair* (TTR) dan *Time To Failure* (TTF) dari masing-masing komponen pada *Boiler* (B-6203) Pabrik III PT. Petrokimia Gresik, sebagai berikut:

1. FT-6212

No.	Actual Start	Actual Completion	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1.	10-11-07	10-11-07	3	0	0
2.	02-09-09	02-09-09	3	662	15888
3.	29-09-14	29-09-14	2	1853	44472
Jumlah			8	2515	60360
Rata-Rata			2.67	838.33	20120

2. FIC-6212

No.	Actual Start	Actual Completion	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1.	07-07-06	07-07-06	2	0	0
2.	21-03-08	21-03-08	3	623	14952
3.	20-05-15	20-05-15	2	2616	62784
Jumlah			7	3239	77736
Rata-Rata			2.33	1079.67	25915

3. FV-6212

No.	Actual Start	Actual Completion	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1.	17-07-09	17-07-09	3	235	5640
2.	08-03-10	08-03-10	3	234	5616
3.	19-09-10	19-09-10	1	195	4680
4.	19-03-11	19-03-11	2	181	4344
5.	16-07-11	16-07-11	3	119	2856

3. FV-6212 (Lanjutan)

No.	Actual Start	Actual Completion	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
6.	25-02-12	25-02-12	3	224	5376
7.	27-08-12	27-08-12	1	184	4416
8.	03-01-13	03-01-13	2	129	3096
9.	18-09-13	18-09-13	3	258	6192
10.	08-12-13	08-12-13	1	81	1944
11.	10-04-14	10-04-14	3	123	2952
12.	25-08-14	25-08-14	2	137	3288
13.	03-10-14	03-10-14	1	39	936
14.	21-02-15	21-02-15	2	141	3384
15.	09-07-15	09-07-15	3	138	3312
Jumlah			39	2418	58032
Rata-Rata			2.167	178.5	4284

4. LT-6212

No.	Actual Start	Actual Completion	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1.	14-11-06	14-11-06	2	0	0
2.	12-03-07	12-03-07	2	118	2832
3.	14-02-08	14-02-08	2	339	8136
4.	24-09-08	24-09-08	2	223	5352
5.	13-12-09	13-12-09	3	445	10680
6.	29-12-10	29-12-10	3	381	9144
7.	02-06-12	02-06-12	2	521	12504
8.	19-03-13	19-03-13	8	290	6960
9.	20-09-13	20-09-13	2	185	4440
10.	29-12-14	29-12-14	2	465	11160
Jumlah			28	2967	71208
Rata-Rata			2.8	297	7120.8

5. LIC-6212

No.	Actual Start	Actual Completion	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1.	09-11-06	09-11-06	3	0	0
2.	16-07-08	16-07-08	2	615	14760
3.	28-10-11	28-10-11	2	1199	28776
Jumlah			7	1814	43536
Rata-Rata			2.33	604.67	14512

6. FT-6213

No.	Actual Start	Actual Completion	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1.	07-11-07	07-11-07	3	0	0
2.	15-01-09	15-01-09	2	435	10440
3.	02-11-10	02-11-10	2	656	15744
4.	02-05-13	02-05-13	2	912	21888
Jumlah			9	2003	48072
Rata-Rata			2.25	500.75	12018

7. TT-6214

No.	Actual Start	Actual Completion	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1.	09-12-09	09-12-09	2	0	0
2.	08-06-11	08-06-11	2	546	13104
3.	12-10-15	12-10-15	3	1587	38088
Jumlah			7	2133	51192
Rata-Rata			2.33	711	17064

8. TIC-6214

No.	Actual Start	Actual Completion	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1.	03-08-08	03-08-08	2	0	0
2.	22-03-10	22-03-10	1	596	14304
3.	06-11-13	06-11-13	3	1325	31800
Jumlah			6	1921	46104
Rata-Rata			2	640.33	15368

9. FV-6214

No.	Actual Start	Actual Completion	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1.	30-03-08	30-03-08	3	0	0
2.	04-01-10	04-01-10	1	645	15480
3.	08-11-13	08-11-13	2	1404	33696
4.	20-09-15	20-09-15	3	681	16344
Jumlah			9	2730	65520
Rata-Rata			2.25	682.5	16380

10. FT-6217

No.	Actual Start	Actual Completion	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1.	13-11-08	13-11-08	2	0	0
2.	02-11-09	02-11-09	3	354	8496
3.	08-07-11	08-07-11	3	613	14712
Jumlah			8	967	23208
Rata-Rata			2.67	322.33	7736

11. PT-6217

No.	Actual Start	Actual Completion	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1.	10-03-06	10-03-06	5	0	0
2.	22-03-06	22-03-06	3	12	288
3.	05-12-08	05-12-08	3	989	23736
4.	02-11-10	02-11-10	2	697	16728
5.	05-11-10	05-11-10	3	3	72
Jumlah			16	1701	40824
Rata-Rata			3.2	340.2	8164.8

12. TT-6217

No.	Actual Start	Actual Completion	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1.	29-08-07	29-08-07	2	0	0
2.	07-07-09	07-07-09	3	678	16272
3.	08-08-14	08-08-14	2	1858	44592
Jumlah			7	2536	60864
Rata-Rata			2.33	845.3	20288

13. PIC-6217

No.	Actual Start	Actual Completion	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1.	29-08-07	29-08-07	2	0	0
2.	07-07-09	07-07-09	3	678	16272
3.	08-08-14	08-08-14	2	1858	44592
Jumlah			7	2536	60864
Rata-Rata			2.33	845.3	20288

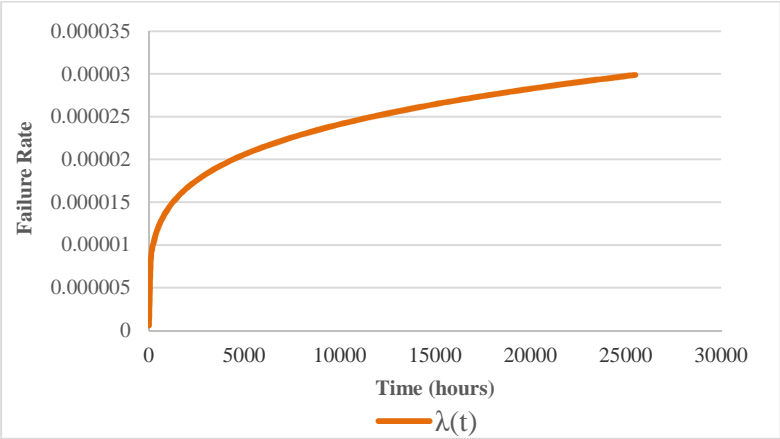
14. FV-6217

No.	Actual Start	Actual Completion	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1.	30-07-09	30-07-09	3	0	0
2.	04-11-10	04-11-10	2	462	11088
3.	08-08-14	08-08-14	2	1373	32952
4.	20-05-15	20-05-15	2	285	6840
Jumlah			9	2120	50880
Rata-Rata			2.25	530	12720

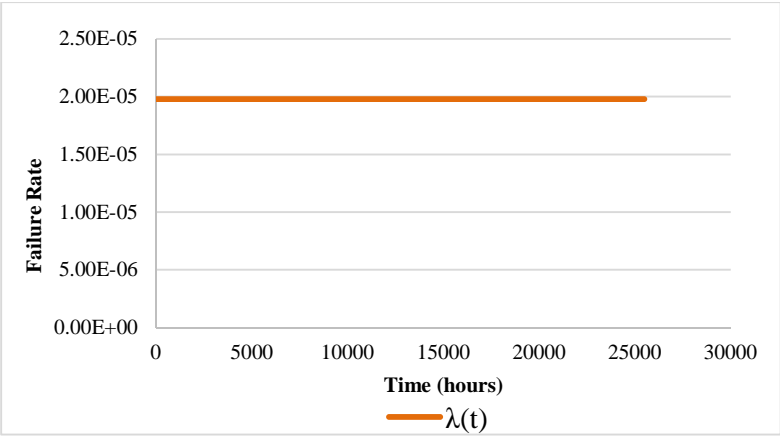
LAMPIRAN C

Pada lampiran kali ini tercantum grafik *failure rate* dari masing-masing komponen pada *Boiler* (B-6203) Pabrik III PT. Petrokimia Gresik, sebagai berikut:

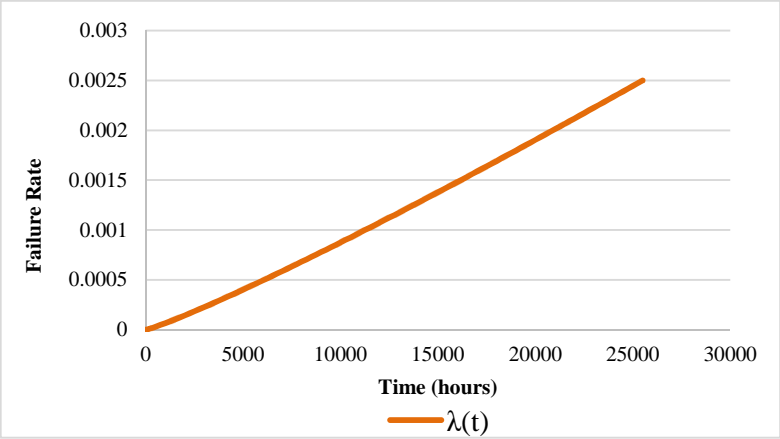
1. Failure Rate FT-6212



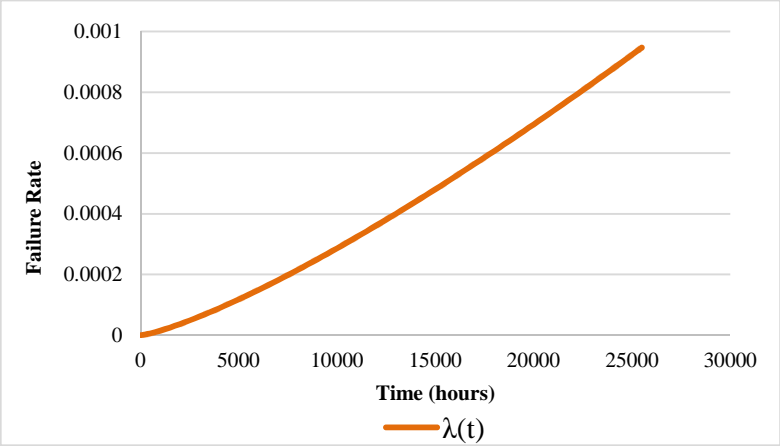
2. Failure Rate FIC-6212



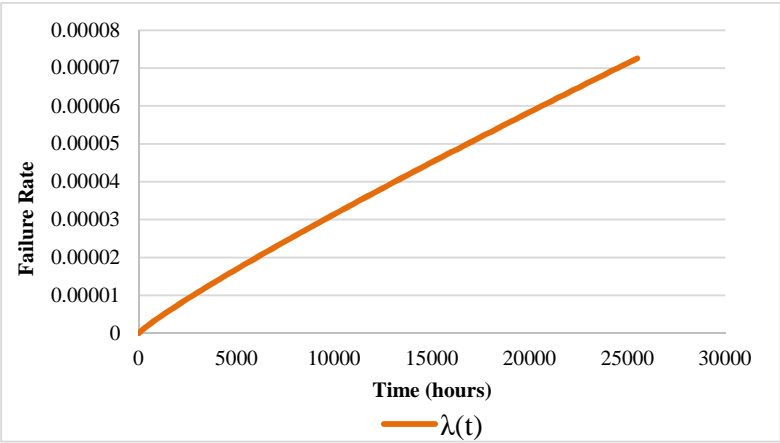
3. Failure Rate FV-6212



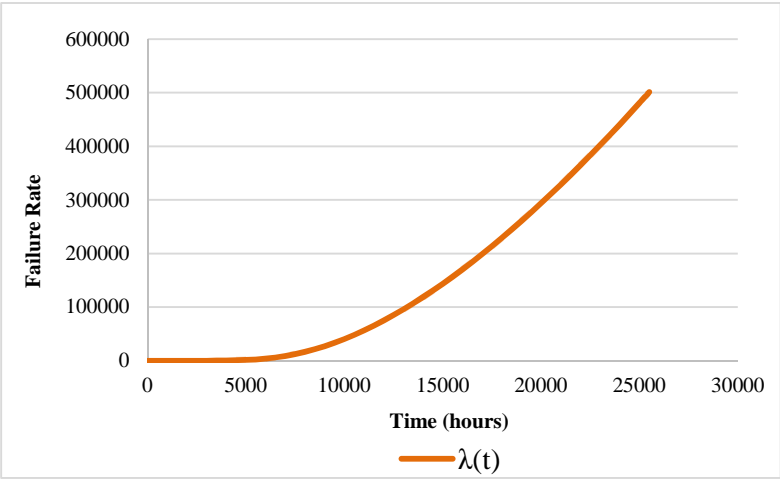
4. Failure Rate LT-6212



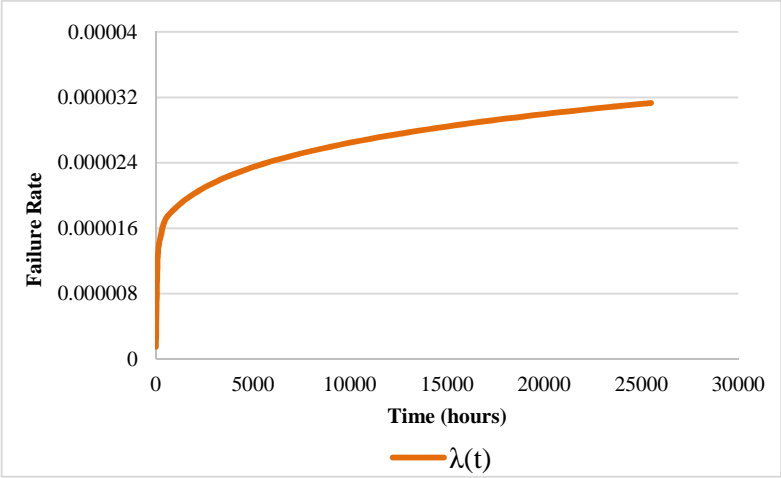
5. Failure Rate LIC-6212



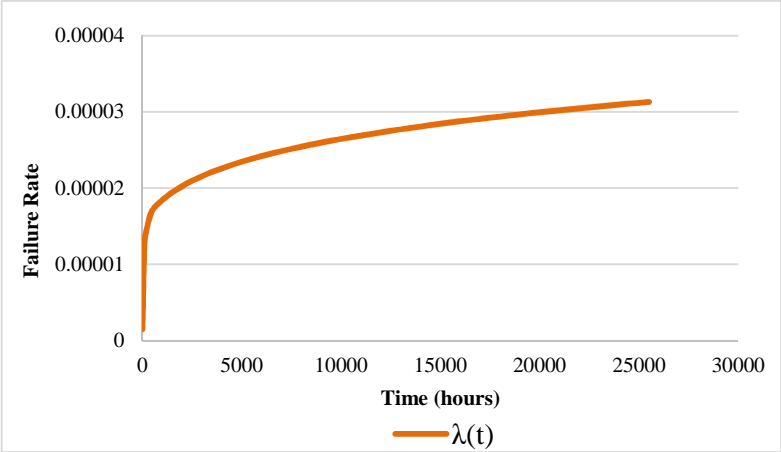
6. Failure Rate FT-6213



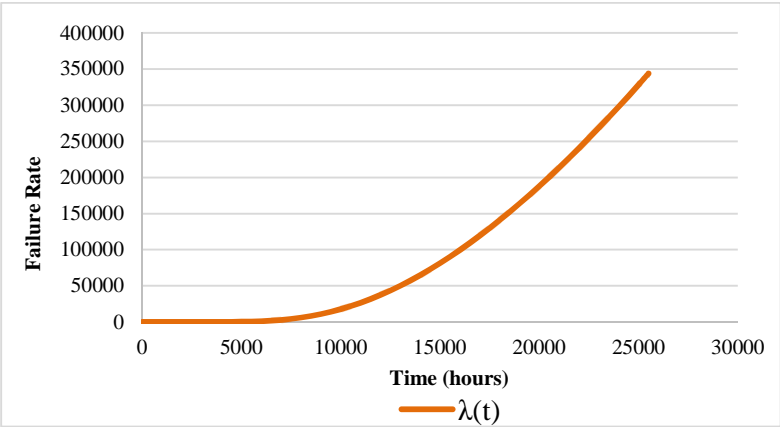
7. Failure Rate TT-6214



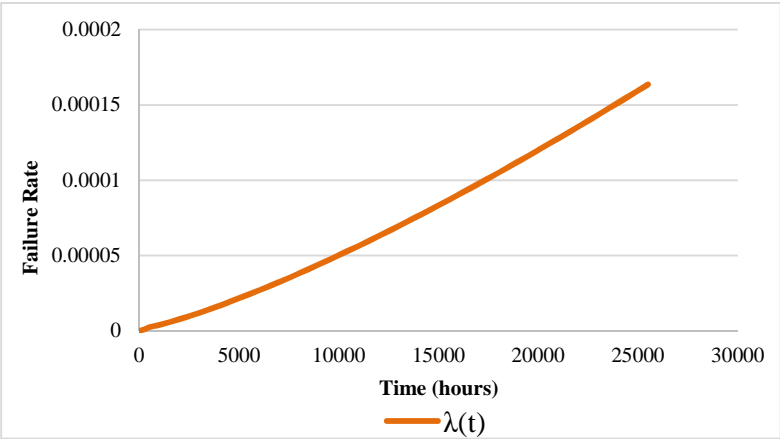
8. Failure Rate TIC-6214



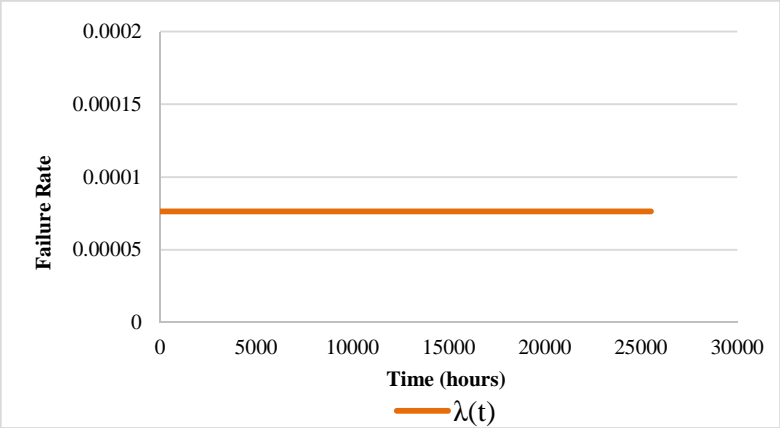
9. Failure Rate FV-6214



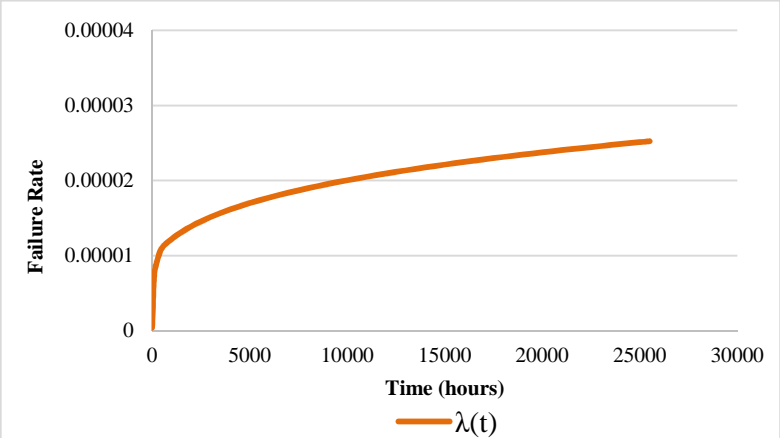
10. Failure Rate FT-6217



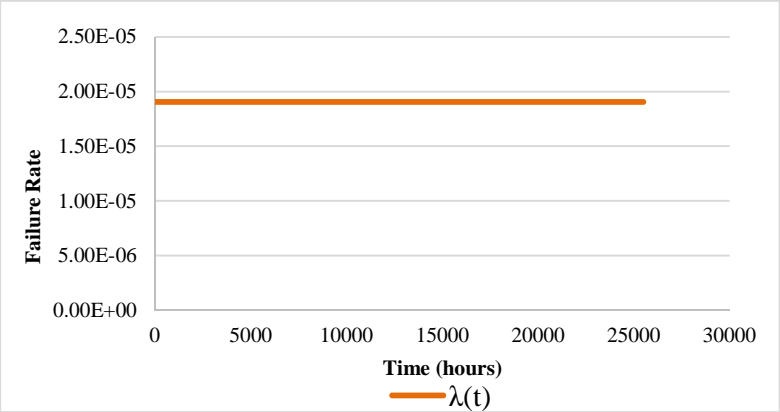
11. Failure Rate PT-6217



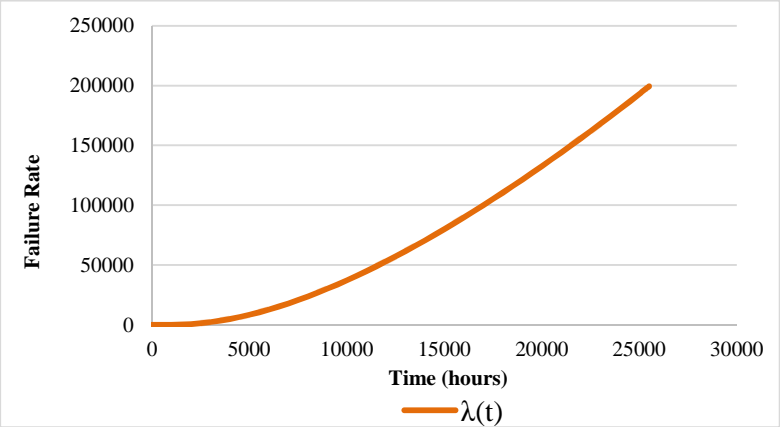
12. Failure Rate TT-6217



13. Failure Rate PIC-6217



14. Failure Rate FV-6217



Halaman ini Sengaja Dikosongkan

LAMPIRAN D

Pada lampiran kali ini tercantum grafik consequence, dari masing-masing komponen pada *Boiler* (B-6203) Pabrik III PT. Petrokimia Gresik, sebagai berikut:

Tabel 1. Consequence

No.	Node		Skenario	Cause	Konsekuensi bagi Manusia					Konsekuensi pada Lingkungan	Konsekuensi pada Finansial
					V	A	r	PPL	Kategori		
1	1	1	Kelebihan aliran (<i>more flow</i>) pada Economizer (E-6212)	FV-6212 damage	0.01	550	0.00068	0.00375	Ca	Ca	Ca
2	1	2	Tidak ada aliran (<i>no flow</i>) pada Economizer (E-6212)	FV-6212 damage	0.01	550	0.00068	0.00375	Ca	Ca	Ca
3	2	1	Level <i>Steam Drum</i> (B-6203) rendah (<i>low level</i>)	FV-6212 damage	0.01	550	0.00068	0.00375	Ca	Ca	Ca
4	3	1	Tidak ada aliran (<i>no flow</i>) pada unit Economizer (E-6212)	FV-6212 damage	0.01	550	0.00068	0.00375	Ca	Ca	Ca

No.	Node		Skenario	Cause	Konsekuensi bagi Manusia					Konsekuensi pada Lingkungan	Konsekuensi pada Finansial
					V	A	r	PPL	Kategori		
5	3	2	Temperature tinggi (<i>high temperature</i>) pada keluaran <i>Superheater</i>	FV-6214 gagal membuka	0.01	550	0.00068	0.00375	Ca	Ca	Ca
6	4	1	Kelebihan tekanan (<i>overpressure</i>) pada <i>Burner</i>	FV-6217 damage	0.5	550	0.00068	0.1875	Cb	Ca	Ca

Tabel 2. *Occupancy*

No.	Node		Skenario	Cause	Occupancy (F)				
					<i>Occupancy Time (hours)</i>	<i>Total Shift/Day</i>	<i>Operation Time (hours)</i>	<i>Operation/Day</i>	Kategori
1	1	1	Kelebihan aliran (<i>more flow</i>) pada Economizer (E-6212)	FV-6212 damage	3	3	24	0.375	Fa

No.	Node		Skenario	Cause	Occupancy (F)				
					Occupancy Time (hours)	Total Shift/Day	Operation Time (hours)	Operation/Day	Kategori
2	1	2	Tidak ada aliran (<i>no flow</i>) pada Economizer (E-6212)	FV-6212 damage	3	3	24	0.375	Fa
3	2	1	Level <i>Steam Drum</i> (B-6203) rendah (<i>low level</i>)	FV-6212 damage	3	3	24	0.375	Fa
4	3	1	Tidak ada aliran (<i>no flow</i>) pada unit Economizer (E-6212)	FV-6212 damage	3	3	24	0.375	Fa
5	3	2	Temperature tinggi (<i>high temperature</i>) pada keluaran <i>Superheater</i>	FV-6214 gagal membuka	3	3	24	0.375	Fa
6	4	1	Kelebihan tekanan (<i>overpressure</i>) pada <i>Burner</i>	FV-6217 damage	3	3	24	0.375	Fa

Tabel 3. *Probability Avoiding Hazard*

No.	Node		Skenario	Cause	<i>Probability Avoiding Hazard (P)</i>				
					Alarm	<i>Shutdown System</i>	Respon Alarm <1 jam	Total	Kategori
1	1	1	Kelebihan aliran (<i>more flow</i>) pada Economizer (E-6212)	FV-6212 damage	0	0	0	0	Pb
2	1	2	Tidak ada aliran (<i>no flow</i>) pada Economizer (E-6212)	FV-6212 damage	0	0	0	0	Pb
3	2	1	Level <i>Steam Drum</i> (B-6203) rendah (<i>low level</i>)	FV-6212 damage	1	1	1	3	Pa
4	3	1	Tidak ada aliran (<i>no flow</i>) pada unit Economizer (E-6212)	FV-6212 damage	0	0	0	0	Pb
5	3	2	Temperature tinggi (<i>high temperature</i>) pada keluaran <i>Superheater</i>	FV-6214 gagal membuka	0	0	0	0	Pb
6	4	1	Kelebihan tekanan (<i>overpressure</i>) pada <i>Burner</i>	FV-6217 damage	1	0	0	1	Pb

Tabel 4. *Damage Rate*

No.	Node		Skenario	Cause	Damage Rate (W)		
					MTTF	Likelihood/ Year	Kategori
1	1	1	Kelebihan aliran (<i>more flow</i>) pada Economizer (E-6212)	FV-6212 damage	20120	2.2968	W _c
2	1	2	Tidak ada aliran (<i>no flow</i>) pada Economizer (E-6212)	FV-6212 damage	20120	2.2968	W _c
3	2	1	Level <i>Steam Drum</i> (B-6203) rendah (<i>low level</i>)	FV-6212 damage	7121	0.8129	W _c
4	3	1	Tidak ada aliran (<i>no flow</i>) pada unit Economizer (E-6212)	FV-6212 damage	12018	1.3719	W _c
5	3	2	Temperature tinggi (<i>high temperature</i>) pada keluaran <i>Superheater</i>	FV-6214 gagal membuka	17064	1.9479	W _c
6	4	1	Kelebihan tekanan (<i>overpressure</i>) pada <i>Burner</i>	FV-6217 damage	8165	0.9321	W _c

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

LAMPIRAN E

Pada lampiran kali ini tercantum surat keterangan penelitian pada Pabrik III PT. Petrokimia Gresik, sebagai berikut:



**PETROKIMIA
GRESIK**

Kepada : Yth. Ketua Jurusan T. Fisika – FTI – ITS Surabaya
kajur_tfisika@its.ac.id
Dari : Dep. Pengembangan SDM PT. Petrokimia Gresik
prakerin@petrokimia-gresik.com
Nomor : 634 /NK.02.02/03/MKP/2016
Perihal : **Konfirmasi Mahasiswa Penelitian**
Tanggal : 29 Agustus 2016
Jml. Halaman : 1 (satu) berkas

Menanggapi surat Saudara nomor 045077/IT2.2.1.4/PP.05.02/2016 tertanggal 27 Juni 2016 perihal Permohonan Mahasiswa Penelitian atas nama :

1. Tasya Mu'afidah Jurusan : T. Fisika
2. Agsutinus Priyoko Pratyaksa Jurusan : T. Fisika

dengan ini disampaikan bahwa permohonan Penelitian bisa kami terima mulai tanggal **01/09/2016 s.d. 30/09/2016**. Selama melaksanakan kegiatan Penelitian di PT Petrokimia Gresik akan dibimbing oleh sdr. **Emil Martin Tambunan**. Bagian Instrumen III, Departemen Pemeliharaan III.

Calon siswa kerja praktek industri harus hadir pada :

- Tanggal : 31 Agustus 2016
Pukul : 07.00 Wib
Tempat : Dep. Pengembangan SDM (Gedung Dikiat) PT Petrokimia Gresik
Acara : Sosialisasi
- KIKP (Kartu Identitas Kerja Praktek)
- K3
- Company Profile

Terlampir persyaratan yang harus dipenuhi dan dibawa oleh siswa saat sosialisasi.

Demikian atas perhatian dan kerjasamanya disampaikan terima kasih.

Manager Pengembangan SDM

Dra. Chursiana Luthfa

WS/Mr/sdr

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Tasya Mu'afida dan akrab disapa dengan panggilan Tasya. Penulis lahir di Tulungagung pada tanggal 6 Maret 1992. Pada kesehariannya, penulis lebih sering meluangkan waktu dan beraktivitas di Sidoarjo bersama dengan kedua orang tuanya. Jenjang pendidikan yang ditempuh oleh penulis dimulai dari Taman Kanak-kanak (TK) Trisula Sidoarjo pada tahun 1997 hingga 1998. Penulis melanjutkan pada jenjang Sekolah Dasar (SD) Cemeng Kalang Sidoarjo pada tahun 1998 hingga 2004 dan dilanjutkan pada jenjang Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 4 Sidoarjo pada tahun 2004 hingga 2007. Jenjang Sekolah Menengah Atas (SMA) penulis dilaksanakan pada SMAN 1 Sidoarjo tahun 2007 hingga 2010. Setelah menyelesaikan jenjang SMA, penulis melanjutkan pendidikan pada Program Diploma 3 Teknik Instrumentasi Jurusan Teknik Fisika, FTI, ITS selama tahun 2010 hingga 2013. Selama bangku perkuliahan penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika (HMTF), baik sebagai anggota pada tahun 2011-2012 hingga menjadi kepala biro Kesejahteraan Mahasiswa (KesMa) pada tahun 2012-2013. Selain aktif dalam organisasi, penulis juga aktif sebagai anggota Laboratorium Instrumentasi Jurusan Teknik Fisika pada tahun 2012-2013. Setelah menyelesaikan pendidikan Diploma 3, penulis bekerja di Yokogawa Indonesia sebagai *Junior System Engineer* (JSE) pada Agustus 2013 hingga Januari 2015. Penulis memperoleh beberapa pengalaman selama bekerja pada *project* di PT. Tjiwi Kimia Mojokerto, PT. Petrokimia Gresik hingga PT. Pertamina RU V Balikpapan. Pada Januari 2015, penulis memutuskan untuk melanjutkan pendidikan pada jenjang sarjana program Lintas Jalur Jurusan Teknik Fisika, FTI, ITS. Motto penulis yaitu *work hard in silence, let your success be your noise*. Adapun jika terdapat saran dan kritik untuk penulis dapat dikirimkan pada email tasyamuafida@gmail.com.